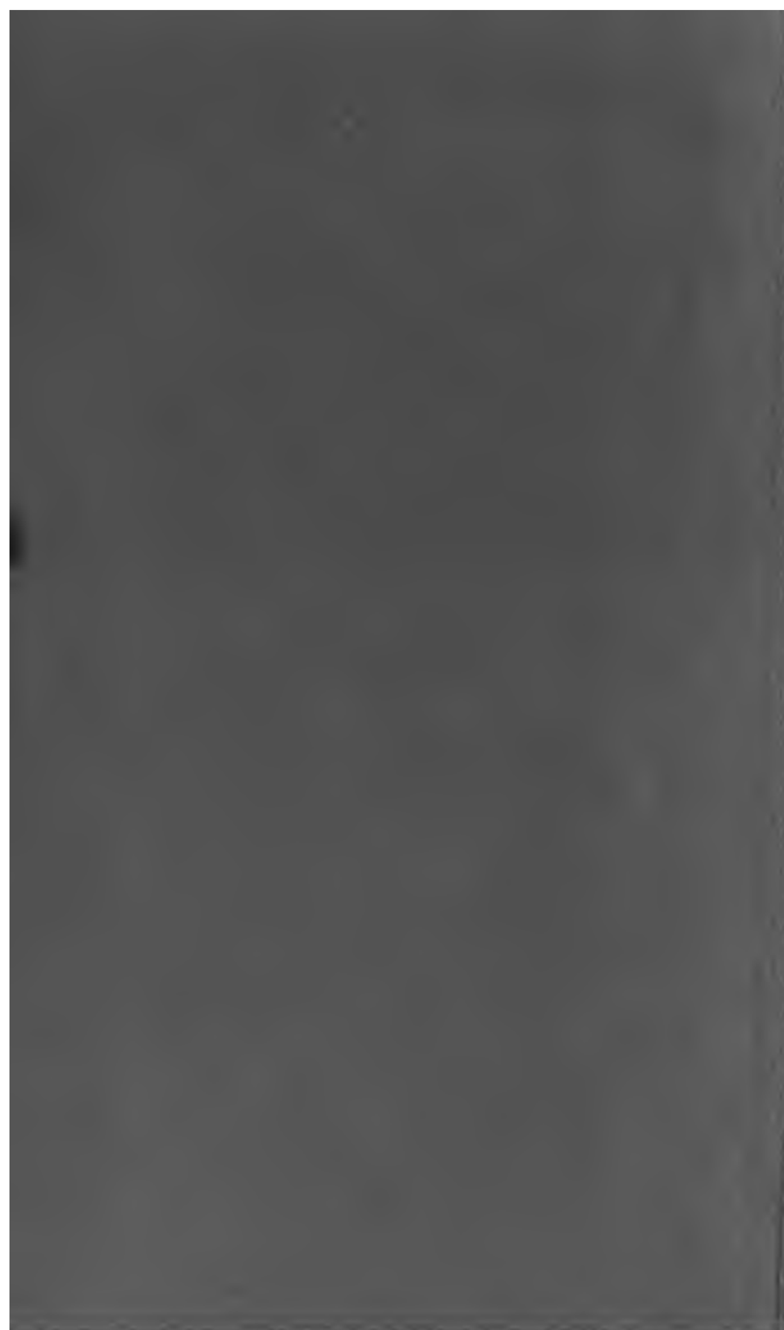

06274456 4







ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME VIII

Année 1881

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1881

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1881 **Janvier-Février**

RAPPORT

DE LA COMMISSION D'ENQUÊTE
SUR LES MOYENS DE PRÉVENIR LES ACCIDENTS
DE CHEMIN DE FER.

A la suite du grave accident arrivé le 15 avril 1879 sur une section de chemin de fer à voie unique du résau de l'Ouest, entre les stations de Flers et de Montsecret, M. le Ministre des travaux publics a chargé une commission spéciale d'étudier les moyens de prévenir les accidents de chemin de fer.

Cette commission, constituée le 19 avril 1879, se composait de:

MM. Guillebot de Nerville, inspecteur général des mines, président; Cacarrié, Meissonnier, Tournaire, inspecteurs généraux des mines, directeurs du contrôle de l'exploitation des chemins de fer; Quilliard, Rousselle, Brame, inspecteurs généraux des ponts et chaussées, directeurs du contrôle de l'exploitation des chemins de fer;

Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, inspecteur de l'École des ponts et chaussées, secrétaire; Vicaire, ingénieur des mines, professeur du cours de chemin de fer à l'École des mines, et Ledoux, ingénieur des mines attaché au contrôle des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée, secrétaires-adjoints.

Bien que le but principal de l'enquête ait été de chercher les moyens d'empêcher le retour sur les chemins de fer à voie unique d'accidents analogues à celui qui venait d'émouvoir si profondément le sentiment public, la commission a donné à ses investigations le développement le plus complet et a compris dans son étude tout ce qui peut intéresser la sécurité de l'exploitation des chemins de fer, *la voie, le matériel roulant et l'exploitation proprement dite.*

Un questionnaire discuté et approuvé dans une des séances de la commission a été adressée le 15 novembre 1879 aux compagnies françaises et étrangères de chemin de fer. Les réponses reçues ont été étudiées et complétées par l'audition directe des représentants des cinq grandes compagnies françaises.

En outre, un avis au public annonçant l'ouverture de l'enquête a été inséré dans tous les journaux au commencement du mois de septembre 1879 et a amené un grand nombre de communications d'inventeurs souvent sans intérêt, mais qui n'en ont pas moins été l'objet d'un examen attentif. Le nombre des inventions soumises à la commission a été de 218, sur lesquelles 98 ont été reconnues sans valeur; les autres ont fait l'objet de rapports spéciaux dont l'ensemble constitue une annexe au rapport général, qui a été adressée au Ministre des travaux publics le 8 juillet 1881 par le président de la commission d'enquête, M. Guillebot de Nerville.

Nous allons extraire de ce rapport les différents passages qui ont trait à l'emploi de l'électricité dans l'exploitation des chemins de fer.

Extraits du rapport de la commission.

. . . .

Les systèmes électriques ont marqué parmi les communications les plus nombreuses. Ce genre d'appareil a quelque chose de séduisant, et il peut sembler qu'on ait là, sous la main, un moyen d'arriver, par des combinaisons plus ou moins ingénieuses, à protéger automatiquement la marche des trains, à garder de leur sillage une sorte de trace visible aux stations en même temps que, de leur côté, les conducteurs de ces trains seront sans cesse avertis de ce qui se passe sur la voie, à l'avant comme à l'arrière. Mais de l'idée à la réalisation d'un pareil problème, que tant d'inventeurs se sont posé, il existera sans doute longtemps encore une distance infranchissable.

Indépendamment des complications d'appareils, de cette multitude de contacts électriques avec leur cortège inséparable de piles d'électro-aimants si souvent répétés, de fils télégraphiques multipliés, aucun des inventeurs n'a tenu compte des conditions si difficiles et si complexes au millieu desquelles devraient fonctionner des appareils si délicats, en contact perpétuel avec le matériel grossier, sur des réseaux souvent très accidentés, entre les mains d'agents subalternes plus ou moins instruits, dans les circonstances atmosphériques les plus extrêmes.

Aussi nous n'avons rien rencontré de pratique à extraire de ces divers systèmes, qui avaient presque tous le défaut commun de chercher à trop entreprendre.

Plusieurs de ces projets dénotaient chez les auteurs un esprit ingénieux et inventif; mais quand nous cherchions à les dégager de leur complications, nous ne retrouvions toujours à conserver, au fond des meilleures communications, que ces grands organes électriques élémentaires en application simple et déjà pratique sur le chemin de fer du Nord.

L'électricité peut rendre et rend déjà effectivement de grands services à l'exploitation des chemins de fer ; mais c'est à la condition d'être employée d'une manière rationnelle et à l'aide d'appareils simples et peu susceptibles de dérangements. La compagnie du Nord, je viens de le dire, en fait déjà sur son réseau un grand usage ; on peut citer, parmi les appareils qui s'y sont heureusement développés, les électro-sémaphores de M. Lartigue, le sifflet électro-moteur pour locomotives, l'appareil électrique pour la protection électro-automatique des gares et des bifurcations, et le contrôleur d'aiguilles, tous du même ingénieur; l'appareil Prud'homme d'intercommunication électrique des trains, etc., etc.

Les résultats d'applications déjà très nombreuses sur ce grand réseau démontrent qu'avec des appareils judicieusement disposés et bien établis, une surveillance convenable et un personnel bien dressé, l'emploi des signaux électriques peut devenir un auxiliaire des plus utiles et concourir à donner à l'exploitation un important surcroît de sécurité.

Nous aurons, au surplus, l'occasion de revenir plusieurs fois sur cette question dans le cours de ce rapport et de faire connaître où en est exactement, en ce moment, sur chaque réseau, l'emploi des signaux électriques.

. . . .

Aiguilles. — Les aiguilles prises en pointe et les pas-

sages à niveau fréquentés sont les points de la voie qui nécessitent le plus de mesures de précautions contre les accidents, et qui devaient appeller spécialement notre attention.

Les aiguilles qui, par leur position, peuvent être abordées « en pointe » par des trains à grande vitesse, doivent être maintenues très exactement fermées, quel que soit le système qui assure ce résultat.

Quand les aiguilles sont enclenchées avec les signaux qui les protègent, soit au moyen de l'appareil Vignier, soit par le système Saxby, dont nous parlerons plus loin, elles sont verrouillées dans une position fixe. Dans le système Saxby, elles sont en outre munies d'une pédale de calage qui empêche qu'elles ne puissent être manœuvrées pendant le passage d'un train. Elles présentent alors les meilleures conditions de sécurité.

Pour les aiguilles non verrouillées, éloignées de l'agent chargé de les manœuvrer, il peut être utile d'avoir un moyen de s'assurer à distance qu'elles ont entièrement obéi à l'action du levier, sans laisser entre elles et le contre-rail sur lequel elles doivent s'appliquer, un écart qui pourrait occasionner un déraillement.

La compagnie du Nord emploie dans ce but les contrôleurs électriques de M. Lartigue, qui sont disposés de telle sorte qu'une sonnerie trembleuse résonne près de l'aiguilleur dès que l'entre-bâillement de l'aiguille et du rail atteint 3 à 4 millimètres.

L'appareil est fondé sur l'emploi d'un basculeur à mercure remplissant le rôle d'un commutateur, disposé aux côtés extérieurs des contre-rails, vis-à-vis l'extrémité de chacune des lames mobiles de l'aiguille, et recevant d'une tringle, adaptée perpendiculairement à la lame de l'aiguille, une poussée horizontale qui interrompt le circuit

électrique si l'aiguille est à fond de course, ou qui laisse agir le courant, et par conséquent fonctionner la sonnerie, si l'aiguille est entre-bâillée.

Les aiguilles d'un même groupe ne devant, en général, être manœuvrées qu'alternativement, une seule pile et une seule sonnerie suffisent pour chaque groupe d'aiguilles placé sous la main d'un même aiguilleur. Dès que la sonnerie annonce l'entre-bâillement, l'aiguilleur y porte remède.

La compagnie du Nord a installé environ 200 de ces contrôleurs d'aiguilles sur son réseau. Ils donnent d'assez bons résultats, à la condition d'être l'objet de soins d'entretien très suivis.

Sur tous les réseaux, les aiguilles en pointe, au moins celles des bifurcations, sont pourvues de signaux spéciaux (indicateurs de direction) conjugués avec elles, et destinés à indiquer aux mécaniciens qui se présentent la direction pour laquelle l'aiguille est faite.

Quelques compagnies, notamment celle de l'Est, appliquent en outre, comme surcroît de sécurité, ces mêmes indicateurs aux aiguilles d'entrée et de sortie des voies de croisement, sur les sections à voie unique ; aux aiguilles des ballastières sur ces mêmes sections; enfin, à certaines aiguilles de voie de garage d'une situation exceptionnelle.

. . . .

Passages à niveau. — Les passages à niveau sont soumis à une réglementation qui est à très peu près la même sur tous les réseaux. Ceux qui sont le plus fréquentés nécessiteraient souvent des mesures spéciales de sécurité.

Sur quelques réseaux, notamment sur l'Est, ceux de ces passages qui se trouvent dans des conditions telles que les machines ou trains non attendus peuvent y arriver sans être aperçus ou entendus à une distance conve-

mable, sont protégés au moyen de disques avancés manœuvrés par les garde-barrières, et situés à 800 mètres environ, dans la direction où le passage est masqué.

D'autres fois, dans certaines conditions de voisinage d'une station, c'est le disque-signal qui est placé au passage à niveau, et c'est l'aiguilleur de la station qui le manœvre pour avertir le garde-barrière de l'arrivée prochaine d'un train.

Beaucoup d'inventeurs ont proposé l'emploi d'appareils avertisseurs automatiques mis en mouvement au passage des trains par des pédales situées à 1.200 ou 1.500 mètres avant le passage à niveau. Aucun ne nous a paru susceptible d'être recommandé.

Le moins imparfait était la pédale d'annonce de M. Lartigue, qui a été expérimentée pendant trois ans, en avant de quinze passages à niveau du chemin de fer du Nord. L'appareil, basé sur le même principe que le contrôleur d'aiguille, consistait en une pédale très légère, attachée à un basculeur à mercure, de manière à lui communiquer, au passage des roues d'un train, le mouvement de bascule voulu pour produire l'interruption du courant électrique nécessaire au déclenchement d'une sonnerie trembleuse placée au passage à niveau.

Malgré les soins que M. Lartigue avait donnés à la construction de sa pédale, le fonctionnement de l'appareil était incertain. On a successivement supprimé tous les appareils en essai, à l'exception de deux qui restent encore en expérience.

Il y aurait d'ailleurs un certain danger, en cas de non-fonctionnement, à employer des appareil automatiques pour ce genre d'avertissements. Il est très préférable de donner directement, d'une station ou d'un passage à niveau voisin, le signal de l'arrivée du train.

On a employé avec succès, dans ce but, sur le réseau de l'Ouest, l'appareil Regnault.

Sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, on a adopté un petit appareil télégraphique très simple et à recommander, imaginé par M. Jousselin. Il permet, par l'inclinaison à droite ou à gauche d'une aiguille, l'échange entre l'avertisseur et le garde-barrière, et inversement, de ces quatre dépêches laconiques, qui suffisent à assurer la sécurité et à montrer que le signal a été compris: « ouvrez » ; « fermez » ; « j'ouvre » ; « je ferme. »

Comme appareil avertisseur d'une grande sûreté, on a les sonneries allemandes (système Siemens), dont il sera question plus loin en parlant de la voie unique. Une de ces sonneries est installée au Landy, à la sortie de la gare de la Chapelle, sur la ligne du Nord, pour avertir la gare Saint-Denis de l'arrivée de tous les trains.

Ainsi, les appareils qui peuvent donner un surcroît de sécurité aux passages à niveau en avertissant de l'arrivée des trains ne manquent pas, et la commission se fait un devoir de proposer au Ministre d'en recommander l'emploi sur tous les points où la fréquentation exceptionnelle du passage, ou sa situation particulière, peuvent être des causes de danger.

Signaux. — La sécurité de l'exploitation des chemins de fer repose surtout sur l'observation des signaux.

Les appareils fixes, établis sur la voie et manœuvrés à distance, pour transmettre aux mécaniciens des trains les signaux d'arrêt ou de voie libre, aux abords des gares, stations, bifurcations, ponts tournants et autres points spéciaux, présentent quelques différences sur nos divers réseaux ; mais ils sont partout disposés et organisés dans les conditions voulues pour assurer la sécurité, pourvu que les indications soient respectées. Leur fonctionne-

ment est généralement satisfaisant et sur quelques lignes on s'applique encore à les perfectionner.

Sur le réseau d'Orléans, on n'emploie toujours que le disque rond à distance pour commander l'arrêt; le Midi, indépendamment du disque rond, dont il ne fait qu'un signal d'arrêt, franchissable avec certaines précautions, a adopté le disque carré d'arrêt absolu. Les mêmes systèmes de disques avancés, d'arrêt relatif, et de disques carrés d'arrêt absolu, se retrouvent sur le réseau de l'Ouest, qui emploie de plus un poteau de protection indicateur de la limite en deçà de laquelle se trouve couvert un train qui a dépassé le signal avancé.

La compagnie de l'Est emploie également les disques avancés ronds, les signaux carrés doublent certains disques avancés, et couvrent, à petite distance, les aiguilles des bifurcations et certains points qui doivent être défendus d'une manière particulière, enfin les poteaux de protection, placés entre les disques avancés et les points spéciaux à couvrir.

Sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, on retrouve le disque avancé rond et le disque carré d'arrêt absolu. On y a ajouté, mais seulement sur les voies intérieures de service des gares principales, de même que sur quelques autres réseaux, un disque jaune dont les indications ne s'adressent qu'aux trains en formation et aux machines en manœuvre dans les gares. L'addition principale effectuée depuis longtemps sur ce réseau consiste en des sémaphores à bras mobiles, employés pour protéger sur place les gares, les bifurcations, et en général tous les points sur lesquels la circulation des trains ou des machines peut rencontrer tout à coup des obstacles.

Ces sémaphores sont aussi employés sur ce réseau, soit dans les gares, soit dans les postes intermédiaires du

«Block-system», pour maintenir, sur la double voie, le cantonnement des trains se succédant dans le même sens.

Sur le chemin de fer du Nord, les signaux ordinaires des voies, disques à distance et disques d'arrêt absolu, sont l'objet de perfectionnements incessants. On ne pourrait désirer sur ce réseau, qui donne l'exemple de tous les progrès et de toutes les améliorations, que l'emploi de ces signaux fixes sémaphoriques, placés à l'intérieur des gares de la ligne de Lyon, si utiles pour guider les mécaniciens qui n'ont plus, pour régler leur marche, quand ils ont franchi le disque à distance, que les signaux à main souvent inaperçus ou insuffisants que leur donnent les aiguilleurs.

Cinq compagnies sur six, le Nord, Lyon, l'Ouest, l'Est, et le Midi, font usage des sonneries électriques de disque (trembleuses), qui commencent à tinter aussitôt que le disque à distance est tourné à l'arrêt, et qui continuent à se faire entendre tant que la gare est couverte par le disque.

Il serait à désirer que l'usage de ces sonneries devînt général sur tous les réseaux ; au moins pour tous les signaux avancés qui ne sont pas visibles du poste de manœuvre. Les contrepoids de tous les disques à distance sont d'ailleurs généralement disposés de manière à mettre et à maintenir à l'arrêt le disque, s'il vient à se produire une rupture du fil de manœuvre.

L'uniformité des couleurs des signaux : rouge pour l'arrêt, blanc pour voie libre, vert pour ralentissement, est déja obtenue sur les voies principales de tous nos réseaux. Il n'y aurait qu'un pas à faire pour que l'uniformité du signal d'arrêt absolu du disque carré et de l'emploi du sémaphore fût aussi établie ; mais il faudrait alors modifier les règlements de plusieurs compagnies pour

les ramener à un type commun, et la nécessité n'en a pas été reconnue.

Les trains ne quittent pas, en général, les lignes appartenant à une même compagnie. Quand ils passent sur un autre réseau, ils changent de machine à la gare de jonction, à moins que ce ne soit pour un faible parcours sur le réseau voisin ce qui ne peut avoir alors aucun inconvénient.

Sur les lignes de plusieurs compagnies (notamment l'Orléans, l'Ouest et le Nord), tous les disques d'arrêt absolu sont munis, sur la double voie, d'un appareil manœuvré par le jeu du mât qui vient placer deux pétards sur la voie lorsque le disque est tourné à l'arrêt, et qui se retire si le disque n'a pas été franchi, dès qu'on le remet à voie libre.

Cette disposition, qui ajoute à la sécurité en forçant l'attention des mécaniciens, serait utile à généraliser.

L'usage fréquent et déjà répandu des signaux détonants, particulièrement la nuit et en temps de brouillard, est d'ailleurs à recommander expressément. La sécurité des chemins de fer anglais, par les brouillards les plus intenses et sur les lignes qui sont les plus chargées de trafic, tient à la règle invariablement suivie de doubler chaque signal fixe à l'arrêt, de la présence d'un agent muni d'une lanterne rouge, et d'un pétard placé sur le rail.

Afin d'éviter que les mécaniciens puissent passer inattentifs devant un signal à l'arrêt, la compagnie du Nord fait maintenant largement usage d'un moyen d'avertissement automatique qu'elle emprunte à l'une des applications électriques les plus ingénieuses qui se soient développées sur son réseau.

Aux abords de toutes les gares de ses lignes principa-

les, des contacts fixes sont maintenant établis sur la voie, à 200 mètres en avant des disques à distance, et mis en relation électriquement avec l'appareil de ces disques, disposé de manière à remplir le rôle de commutateur, en donnant passage à un courant ou en l'interrompant, suivant que le disque est tourné à l'arrêt ou à voie libre.

Des sifflets électro-automoteurs de MM. Lartigue, Forest et Digney frères, dont le jeu est basé sur l'emploi de l'électro-aimant Hughes, adaptés aux locomotives, sont déclenchés et font entendre un sifflement prolongé, au passage de la machine sur le contact fixe, quand le disque est tourné à l'arrêt. Le sifflet ne cesse de se faire entendre qu'au moment où le mécanicien ferme l'issue de la vapeur. On peut donc être certain que le signal a été compris.

La machine est munie d'une brosse métallique qui frotte, en passant, sur le contact fixe et transmet à l'appareil du sifflet le courant de la sonnerie ordinaire du disque, si ce disque est tourné à l'arrêt.

Par une disposition analogue, le même appareil électrique permet d'actionner la valve de l'éjecteur à vapeur du frein à air comprimé, et d'obtenir automatiquement, en passant sur le contact fixe d'un disque à l'arrêt, soit le ralentissement, soit même l'arrêt complet d'un train. Tous les disques des lignes à express du Nord, au nombre d'environ 350, sont déjà pourvus du contact fixe, et 209 locomotives sont munies de brosses métalliques et de sifflets électro-automoteurs. L'emploi de ces appareils est donc entré dans la voie d'application pratique la plus large, et on peut ajouter qu'elle donne les résultats les plus satisfaisants. La compagnie, par un nouveau pas dans ce système d'avertissements électriques automatiques, a mis récemment à l'essai, en deux points :

à la bifurcation de Senlis, près Chantilly, et à Essigny, une nouvelle disposition d'appareils ayant pour but :

1° De prévenir la gare qu'un train est passé devant le disque qui la protège lorsque le disque se trouve indûment effacé ;

2° Tant que la gare n'a pas mis à l'arrêt le disque pour couvrir ce premier train, prévenir un deuxième train qui le suit, qu'il est précédé par le premier, et que celui-ci n'est pas couvert par le disque.

Ce double résultat (cette protection électro-automatique d'une gare) est obtenu par l'installation d'un second contact fixe entre le disque et la gare, relié à la sonnerie du disque et au premier contact fixe par un fil spécial et une seconde pile, Si le disque est effacé au moment où la machine passe sur le deuxième contact, en même temps qu'elle annonce son arrivée en faisant tinter la sonnerie de la gare, elle met automatiquement en charge électrique le contact fixe placé en avant du disque, et assure ainsi le déclenchement du sifflet électro-moteur de toute machine qui pourra la suivre.

Ces appareils électriques automoteurs, dont l'usage se développe de plus en plus sur le réseau du Nord, fonctionnent généralement avec une grande sûreté en raison de leur simplicité. Ils n'y sont cependant considérés que comme des appareils auxiliaires de sécurité qui ne doivent exonérer en rien les mécaniciens de leur vigilance ordinaire, ni dispenser aucun agent de l'exécution stricte des règlements.

Un train forcé de s'arrêter en pleine voie est protégé par des signaux à la main et les pétards que l'un des garde-freins doit s'empresser d'aller placer à l'arrière, à la distance réglementaire. La même précaution doit être également employée, sans hésitation, toutes les fois que

la marche d'un train est assez ralentie pour qu'il y ait lieu de craindre qu'un autre train, survenant à l'arrière puisse le rejoindre.

On comprend toutefois qu'en certains cas, par exemple la nuit, en temps de neige ou de brouillard, le ralentissement d'un train puisse devenir momentanément inquiétant, sans permettre de laisser descendre un agent pour placer sur la voie des signaux détonants. Un signal pyrotechnique, jeté sur la voie, après avoir été préalablement enflammé, pourrait alors protéger le train jusqu'au moment où il aurait pu reprendre sa vitesse. On a expérimenté, dans ce but, il y a quelques années, sur le réseau de l'Ouest, la fusée Lamare. Ces premiers essais avaient été abandonnés; mais la compagnie du Nord vient de les reprendre et elle annonce qu'elle en obtient des résultats satisfaisants.

On emploie des fusées de deux dimensions: l'une brûle avec éclat pendant cinq minutes; l'autre permet de maintenir le même signal pendant dix minutes. Elles se conservent d'ailleurs presque indéfiniment sans altération. Elles semblent, par conséquent, pouvoir devenir d'un usage pratique, et il paraît utile d'en recommander au moins l'essai aux compagnies.

Un grand nombre d'inventeurs ont cherché à rendre manifeste aux agents d'un train le présence sur la voie d'un autre train déjà engagé, soit dans le même sens, soit surtout en sens contraire, à l'aide de signaux actionnés automatiquement par ces trains. Les uns ont proposé des moyens de transmission purement mécaniques et par cela même insuffisants en principe; les autres, en plus grand nombre, ont songé à appliquer des appareils et des transmissions électriques.

Indépendamment des objections que soulève à lui seul

le principe de l'automaticité des signaux, dont le plus grave serait de donner une fausse et dangereuse sécurité en cas de dérangement des appareils. Presque toutes les communications de ce genre que nous avons eu à examiner avaient ce caractère commun d'être essentiellement étrangères aux conditions de la pratique de l'exploitation des chemins de fer.

Les signaux mis en jeu par des transmissions mécaniques, en tant même qu'ils eussent pu fonctionner, ce qui était presque toujours à mettre en doute, n'étaient pas en état de supporter un seul jour le mouvement des trains sur une ligne à trafic un peu élevé et à circulation rapide.

Les appareils à transmissions électriques, présentaient toujours la plus grande complication, et auraient fait reposer la sécurité du train sur le jeu, souvent problématique, d'organes d'une délicatesse incompatible avec le mouvement et les masses des machines et des trains.

Notre rapport spécial sur les inventions, en donnant le détail de ses diverses propositions, fait ressortir les défauts qui n'ont permis jusqu'ici de leur faire aucun emprunt.

D'autres inventeurs, également nombreux, se sont appliqués à chercher le moyen d'établir une communication télégraphique permanente des trains en marche, soit entre eux, soit avec les stations. C'est comme on le voit, la réapparition, après plus de vingt-cinq ans, de la tentative ingénieuse mais sans succès du chevalier Bonnelli.

M. de Baillache, ancien inspecteur du chemin de fer de Glos-Montfort à Pont-Audemer, est celui de ces inventeurs qui a montré le plus de persévérance et de soin dans l'étude de ce mode de communications. Son systè-

me décrit et discuté en détail dans le rapport spécial que je viens de rappeler, a été soumis pendant quelques mois, en 1878, à une expérience sur la ligne de Grenelle au Champ de Mars; mais le fil de ligne, installé à une petite distance au-dessus de la voie pour la transmission du courant électrique, était sujet à de fréquents dérangements et était en outre très-gênant et même dangereux pour le service et l'entretien de la voie. L'expérience, qui avait lieu d'ailleurs dans des conditions assez défavorables, n'a pas réussi.

Depuis l'inventeur a modifié son procédé : le fil au moyen duquel il proposerait maintenant d'établir la communication électrique ne serait plus posé près du sol, mais à 2^{m},30 environ de hauteur, latéralement à la voie. Une sorte de lance à frotteur métallique, partant du fourgon de tête du train, appuyée vers son extremité sur ce fil, mettrait les appareils télégraphiques du train en communication avec le courant et les appareils des stations. Le système ainsi modifié n'a pas été expérimenté; il serait encore sujet à de nombreuses défectuosités qui en rendraient l'emploi difficile, en tous cas très gênant, et certainement très intermittent, au milieu d'une exploitation dont les plus simples incidents de matériel interrompraient tout service de l'appareil.

C'est au surplus l'objection fondamentale commune à adresser non seulement à ce système, mais à tous les procédés similaires si nombreux qu'on nous a soumis, tous beaucoup trop compliqués et trop délicats, comme je l'ai dit, pour pouvoir fonctionner avec sûreté au milieu d'un matériel exposé aux trépidations de la marche et aux chocs des manœuvres. Au point de vue pratique d'ailleurs, la communication n'aurait d'utilité sérieuse que dans des cas exceptionnels, et à peu près uniquement pour

donner le signal d'arrêt à un train indûment engagé sur la voie unique. Le même résultat peut être obtenu beaucoup plus simplement, et d'une manière qui n'apporte aucune complication de voie ni de matériel, par les cloches électriques dont nous parlerons plus loin.

. . . .

Communications des voyageurs avec les agents des trains. — Deux événements récents : un crime et un accident de personne, qui ont, l'un et l'autre, entraîné mort d'homme, ont démontré la nécessité : 1° d'exiger désormais, dans toute son étendue, l'éxécution de l'article 23 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, qui prescrit de mettre, dans les trains de voyageurs, les conducteurs garde-freins en communication entre eux et avec le mécanicien, pour donner, en cas d'accident, le signal d'alarme ; 2° d'inviter en outre les compagnies à prendre les mesures nécessaires pour donner désormais aux voyageurs le moyen de faire appel aux agents du train.

La commission ayant fait de cette mesure l'objet d'un rapport et d'un avis qui ont déjà été soumis au ministre, je me bornerai à en rappeler, sommairement et pour ordre, les principaux considérants et les conclusions.

Presque toutes les compagnies se sont bornées jusqu'ici à employer une simple corde pour mettre en communication le chef de train placé dans le fourgon de tête avec le mécanicien, au moyen d'un timbre placé sur le tender. D'autres, et notamment la compagnie de l'Est, ont parfois complété ce système en ajoutant une deuxième corde tendue du dernier fourgon au premier, et communiquant également avec une cloche ou un timbre placé dans le fourgon. Cette solution n'était ni assez complète ni surtout assez sûre pour être généralisée, recommandée, et encore moins imposée aux compagnies.

On avait essayé sur quelques réseaux l'intercommunication électrique du système de l'ingénieur Prud'homme; mais on l'avait presque toujours promptement abandonnée en lui reprochant son irrégularité de fonctionnement, à la suite d'insuccès persistants des premiers essais.

Deux compagnies, plus familiarisées avec l'emploi des appareils électriques, l'avaient toutefois conservée : le Nord, en lui donnant tous les soins voulus et en en perfectionnant l'emploi ; la compagnie de Lyon, en ne s'en occupant d'abord qu'un peu mollement, puis en se décidant enfin, cette dernière année, à lui consacrer l'équipe de personnel nécessaire à son bon entretien.

Ces soins ont achevé de démontrer que le système était, quand on le veut bien, d'une application pratique et qu'il pouvait fonctionner avec une régularité très satisfaisante.

Il est donc possible d'avancer aujourd'hui qu'à défaut d'autre appareil, on a, dans le système électrique Prud'homme un appareil qui peut permettre de satisfaire rigoureusement à l'article 23 de l'ordonnance précitée, et d'aller plus loin, en mettant les voyageurs en communication constante et assez sûre avec les garde-freins.

On a dû faire remarquer, en outre, qu'un complément indispensable de cette mise en communication d'appel avec les agents, était de donner à ceux-ci la faculté de circuler sans danger sur toute la longueur du train.

. . . .

Block-system. — Le système de cantonnement des trains « Block-system » des Anglais, qui substitue la distance au temps pour assurer l'intervalle entre deux

trains marchant dans le même sens, sur la même voie, est incomparablement supérieur à celui qui consiste à régler les vitesses.

Cette méthode consiste, on le sait, à diviser la ligne en sections, ou cantons « Blocks », de longueur convenable, et à ne jamais permettre que deux trains se trouvent simultanément dans une de ces sections, aucun train ne devant pénétrer dans une section que lorsque celui qui le précède en est sorti.

Chaque train, quelles que soient sa nature et sa vitesse, sur une ligne exploitée par cantonnement, est donc toujours couvert, pendant sa marche aussi bien que pendant ses arrêts, par une zone de protection suffisante ; et quelles que soient les vitesses des trains en mouvement sur une pareille ligne, de quelque façon que ces vitesses se combinent entre elles, normalement ou accidentellement, tant que les signaux du Block sont rigoureusement faits et strictement observés, aucune collision n'est possible.

Dans ces conditions, on réalise le « Block-system absolu », tel qu'il est généralement pratiqué en Angleterre, en Belgique, en Hollande et sur quelques sections de lignes françaises.

Pour faciliter la circulation, et pour éviter de réduire la capacité du trafic des lignes, sans recourir au fractionnement de ces lignes en de trop courtes et par conséquent trop dispendieuses sections de cantonnement, on emploie sur quelques lignes anglaises, et aussi en France, un système mixte, le système « permissif » :

Le mécanicien, au lieu de s'arrêter à l'entrée d'une section bloquée, se rend maître de sa vitesse, dépasse le signal d'arrêt avec prudence, et s'avance avec précaution, soit jusqu'au premier signal d'arrêt qu'il trouve sur la

voie, soit jusqu'à l'extrémité de la section, à partir de laquelle il reprend sa marche normale, si la section suivante n'est pas bloquée. En Angleterre, le « Block-system » absolu, qui donne le maximum de sécurité, a pris un développement considérable. En 1878, il était appliqué sur les 0,77 (plus des 3/4) de la longueur totale des lignes à double voie.

En France, où l'exploitation par cantonnement fait des progrès rapides, sur cinq compagnies qui l'ont adopté avec plus ou moins de développement, deux compagnies, Paris-Lyon-Méditerranée et Orléans, appliquent le « Block-system absolu » ; les trois autres compagnies, le Nord, l'Ouest et l'Est, appliquent un système qui se rapproche du « permissif », avec addition de quelques précautions spéciales.

Les appareils employés pour réaliser ce système de cantonnement sont variés, et je ne saurais entreprendre d'en donner une description même très sommaire. Sur les lignes françaises on a adopté soit les électro-sémaphores Lartigue-Tesse et Prud'homme, caractérisés par la solidarité des signaux électriques et des signaux à vue, soit l'appareil Tyer (l'appareil le plus usité en Angleterre), soit l'appareil Regnault, dont les signaux électriques ne sont pas solidarisés avec les signaux à vue, et dont, par conséquent, les indications doivent être traduites et répétées à l'extérieur pour être portées à la connaissance des mécaniciens.

Sur le chemin de fer du Nord, le « Block-system » est appliqué, en ce moment, sur diverses sections d'un total de 90 kilomètres ; et il le sera prochainement, en outre, sur la ligne de Paris à Lille, soit un total de 300 kilomètres.

La section actuelle la plus importante est de 50 kilo-

mètres, de Saint-Denis à Creil par Chantilly. Dans la première organisation, on n'avait établi entre ces deux points extrêmes que 12 postes formant 11 sections de 3^k,941 de longueur moyenne. On a été bientôt amené à remanier ces cantonnements pour faciliter l'activité de la circulation, et à installer définitivement 20 postes formant 20 sections d'une longueur moyenne de 2^k,287. Sur la ligne de Lille, les postes seront espacés de 3 kilomètres en moyenne, et leur distance maxima ne dépassera pas 4 kilomètres.

L'electro-sémaphore Lartigue est mis à l'arrêt mécaniquement, au passage de chaque train. Ce signal d'arrêt est enclenché et ne peut plus être déclenché et effacé que par une manœuvre effectuée du poste suivant vers lequel s'avance le train. La sécurité est donc complètement assurée. Un accusé de réception acoustique (par une sonnerie) et optique (par un voyant) avertit le signaleur que l'opération qu'il a voulu effectuer au poste suivant s'est produite et a été comprise.

L'installation est d'ailleurs des plus complètes : tout poste fonctionne comme une véritable station, avec disques avancés et poteaux de protection ; ce qui donne un grand surcroît de sécurité.

L'exploitation ne se fait ni par le « Block-system » absolu ni par le « permissif » proprement dit, mais par une sorte de combinaison mixte des deux systèmes : un train arrêté par un sémaphore est autorisé, en principe, à pénétrer dans la section bloquée après cinq minutes de stationnement ; mais il ne doit s'y avancer qu'avec une vitesse qui permette de pouvoir toujours l'arrêter dans la partie de voie en vue.

Le stationnaire qui laisse s'engager ainsi plusieurs trains dans sa section avant que le signal d'arrêt ne soit

déclenché en tient régulièrement note sur une ardoise, placée en vue, à son poste.

La compagnie complète d'ailleurs, en ce moment, son système de cantonnement dans la partie de son réseau, où il était le plus essentiel de l'établir, entre Paris et Saint-Denis, où les trains et les machines se succèdent pendant presque toute la journée, à cinq minutes d'intervalle, et à trois minutes pendant plusieurs heures. Elle y installe six postes, à petite distance, d'electro-sémaphores combinés avec autant d'appareils Saxby. La sécurité de la circulation y sera donc complètement assurée.

La compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a été la première à inaugurer le «Block-system», dès l'année 1867. Il y a pris un développement bien plus rapide que sur les autres réseaux. On y compte déjà 530 kilomètres, exploités par cantonnement et principalement répartis en quatre grandes sections sur la ligne de Paris à Marseille, dont le trafic moyen, l'un des plus considérables de France, est de 67 trains par vingt-quatre heures dans chaque sens. Avant deux ans, la ligne totale, de 860 kilomètres, sera cantonnée. On en projette aussi l'établissement sur la ligne de Tarascon à Cette, soit un total de 1.169 kilomètres.

On rencontre encore, en ce moment, sur le réseau, quelques postes éloignés de 6 à 7 kilomètres ; on en réduit l'intervalle par l'établissement de postes intermédiaires, et incessamment l'étendue des cantons ne dépassera pas 4 kilomètres.

Chaque poste est muni d'un sémaphore donnant les signaux optiques aux mécaniciens, d'une pile électrique, d'une sonnerie et d'un appareil Tyer simple ou double, suivant que le poste est tête de ligne ou intermédiaire. Il est relié par un fil télégraphique au poste qui le précède

et à celui qui le suit. Jusqu'ici les sémaphores qui n'étaient pas visibles d'assez loin, étaient les seuls qui fussent appuyés par des disques avancés. On travaille, en ce moment, à rendre cette mesure générale et à doubler, comme sur le Nord, chaque sémaphore de deux disques avancés à grande distance.

Sur ce réseau, comme je l'ai dit, le « Block-system » est absolu, mais il est tempéré, en cas d'arrêt prolongé, par la faculté de passage donnée au mécanicien après dix minutes de stationnement, en lui remettant un bulletin écrit qui lui sert d'avertissement, et en lui imposant un ralentissement soutenu.

Le système a reçu dans ces derniers temps une importante amélioration par l'adjonction aux appareils Tyer de chaque poste d'un avertisseur électrique Jousselin, qui complète les moyens de communication de poste à poste.

Cet avertisseur permet de passer télégraphiquement, d'un poste à l'autre, avec le courant même de l'appareil bloqueur et sans toucher à son fonctionnement, une douzaine de signaux convenus, sans qu'il puisse y avoir erreur ou confusion dans l'envoi ou dans la réception des signaux.

L'appareil présente un cadran à divisions numérotées sur lequel peut se mouvoir une aiguille. Il suffit de donner un coup du bouton vers lequel est inclinée l'aiguille inférieure de l'appareil Tyer, pour mettre en jeu la sonnerie du poste suivant et y faire avancer d'une division l'aiguille du cadran ; chaque division porte d'ailleurs l'indication d'une des douze dépêches les plus usuelles, inscrites d'avance.

L'avertisseur Jousselin remplace ici avantageusement, comme on voit, le commutateur de l'électro-séma-

phore Lartigue, qui ne peut permettre, sans crainte de confusion, de passer plus de cinq signaux déterminés à l'avance.

La compagnie d'Orléans a établi le « Block-system absolu » sur la double voie de sa ligne principale entre Paris et Brétigny, soit sur les 32 kilomètres de son réseau qui présentent la plus grande fréquentation (60 trains dans chaque sens).

Elle emploie les électro-sémaphores Lartigue avec une légère modification imaginée par MM. Heurteau et Guillot, dans le but d'empêcher les erreurs pouvant provenir de dérangements causés par l'électricité atmosphérique.

Les stations de cette ligne étant très peu éloignées les unes des autres, les postes de cantonnement ont pu être établis à une distance moyenne de 2 kilomètres 1/2, presque sans intercalation de postes isolés en pleine voie.

Le « Block-system » proprement dit n'est appliqué, en ce moment, sur le réseau de l'Est, que sur les 5 kilomètres qui séparent Pantin de Noisy-le-Sec, à l'aide de trois postes munis d'appareils du système Tyer et de disques à distance, qui fonctionnent dans des conditions voisines du permissif, adoptées sur le chemin de fer du Nord.

Des appareils Tyer viennent d'être également établis, pour fonctionner dans les mêmes conditions, sur 8 kilomètres, entre Noisy-le-Sec et Nogent-sur-Marne-Bry, en attendant qu'on installe sur cette ligne et sur celle de Paris à Meaux, ainsi qu'on en étudie le projet, des électro-sémaphores Lartigue, identiques à ceux du Nord.

On a déjà d'ailleurs réalisé depuis longtemps, sur le

tronçon de 6 kilomètres compris entre Paris et Pantin (où circulent en moyenne cent trains dans chaque sens), un véritable « Block-system absolu » par l'installation d'une série de petits postes communiquant entre eux par des avertisseurs à palettes jaunes, qui divisent successivement la voie en sections très courtes, à l'aide de disques spéciaux manœuvrés mécaniquement, et assurent la sécurité de ce passage resserré et difficile qui donne accès à la gare de Paris.

Entre Noisy-le-Sec et Meaux, la distance, $36^k,365$, sera partagée en 10 sections de cantonnement variant entre un minimum de longueur de 1152 mètres et un maximum de $5^k,169$. Trois postes d'électro-sémaphores Lartigue seront installés en pleine voie. Les huit autres seront établis aux stations.

Sur la petite ligne de Paris-Bastille à Vincennes, la faible distance des stations et la disposition des signaux ont permis de réaliser un mode de cantonnement qui assure la sécurité. Le disque qui protège chaque station se trouvant effectivement placé dans la station précédente, il est de principe de ne laisser partir aucun train de cette dernière tant que son disque en vue est à l'arrêt.

La compagnie de l'Ouest a déjà appliqué le système de cantonnement sur 82 kilomètres de son réseau, sur les lignes d'Auteuil et de ceinture rive gauche, de Versailles rive droite et rive gauche, et de Paris à Rouen, aux sections d'Asnières à Achères, et d'Oissel à Sotteville.

Sur la section de Paris Saint-Lazare à Auteuil, qui comprend neuf postes, elle emploie l'appareil Tyer. Sur toutes les autres sections et sur le chemin de ceinture, le « Block-system » est établi avec l'appareil électrique

Regnault et les disques carrés d'arrêt absolu ordinaires appuyés de disques avancés.

L'appareil Regnault, qui a de l'analogie avec l'appareil Tyer, mais qui lui est supérieur, a été l'objet, dès son origine, d'un rapport très favorable de la commission d'enquête de 1856. On pourrait même s'étonner de le voir si peu appliqué encore. Il a d'ailleurs reçu de son auteur des perfectionnements qui rendent son fonctionnement plus sûr et moins sujet aux dérangements. Il exige deux fils télégraphiques, mais il présente des garanties de sécurité spéciales.

Ainsi, le signal du départ d'un train ne peut être supprimé par le poste qui l'a donné. Autrement dit, l'aiguille inclinée dans le sens de la marche du train ne peut être ramenée à la verticale que par le poste qui a reçu le train. Inversement, l'aguille de répétition de l'appareil, qui donne l'accusé de réception, ne s'incline que par l'action du courant électrique permanent produit par l'appareil qui a reçu le signal.

On n'applique pas sur les lignes de l'Ouest le « Block-system absolu », mais un « Block-system » très mitigé ; car, si au boutde cinq minutes la voie libre n'estpas rendue, le stationnaire peut laisser engager dans la section un nouveau train, en donnant au mécanicien un bulletin écrit. Dix minutes après le passage d'un train, le bulletin n'est plus nécessaire.

Enfin, quand un train s'arrête à une station et s'y trouve couvert par les signaux avancés, le poste de cette station peut rendre voie libre au poste précédent, bien que le train n'ait pas encore dégagé la station.

La compagnie se propose d'étendre prochainement son ystème de cantonnement par les appareils Regnault, d'Achères à Mantes, de Sotteville à Malaunay et de

Viroflay à Saint-Cyr, en en reportant en même temps la tête de ligne d'Asnières à la station de Clichy.

Son projet le plus important, et dont la réalisation comblera une lacune trop évidente, consiste à établir dans l'espèce de goulot compris entre la gare de Paris et celle de Clichy, où les trains et les machines se succèdent à deux minutes d'intervalle pendant quelques heures de la journée, un système de cantonnement absolu à petites sections.

Le projet est à l'étude et sera mis prochainement à exécution. Six postes seront établis dans ce goulot sur la ligne de Saint-Germain, et sept sur celle de Versailles (le dépôt des machines se trouve situé sur cette dernière ligne). La longueur des cantons variera de 500 à 750 mètres. Les postes seront fermés à leurs extrémités par des disques carrés d'arrêt absolu, déjà existants pour la plupart. La correspondance des signaux d'un poste à l'autre, pour bloquer et débloquer les cantons, s'effectuera à l'aide de petits disques avertisseurs de forme triangulaire communiquant mécaniquement.

L'exploitation de ce faisceau de lignes de Paris à Clichy y trouvera un surcroît de sécurité qui depuis longtemps devenait indispensable.

On voit que presque toutes les compagnies arrivent d'elles-mêmes à appliquer le système de cantonnement des trains sur la plupart des sections de leurs réseaux le plus chargées de trafic.

Il semble assez difficile, au premier abord, de déterminer une limite de trafic à partir de laquelle cette application puisse être considérée comme indispensable à la sécurité. Il a paru toutefois à la commission que ce n'était pas trop s'engager que d'émettre l'avis qu'un mouvement de cinq trains à l'heure dans le même sens

(ce qui ne laisse qu'un intervalle de 12 minutes, à peine supérieur à l'intervalle réglementaire entre deux trains consécutifs), se produisant à certaines heures de la journée, pouvait être adopté pour limite, et qu'il était utile de signaler cette limite aux compagnies comme ne devant jamais être dépassée sans donner lieu à l'installation du « Block-system. »

Il existe enfin, sur tous les réseaux, un certain nombre de tronçons où l'emploi d'un système de cantonnement a une importance toute spéciale. Ce sont les points de ramifications ou de rebroussement, où les trains en correspondance passent toujours à des intervalles très-rapprochés. Les lignes y sont, en outre, souvent en tranchées ou en courbes, ou masquées par certains ouvrages d'art.

Le cantonnement des trains est le seul moyen d'assurer la sécurité sur ces points spéciaux, et la commission ne peut que proposer au Ministre d'inviter les compagnies à se mettre en mesure d'en faire l'application à ces points.

La commission estime, enfin, qu'il convient, tout en laissant les compagnies libres d'adopter soit le « Block-system » absolu, soit le permissif (dans lequel ne s'est produit jusqu'ici aucun accident), de leur recommander particulièrement l'application du « Block-system » absolu, comme présentant des garanties de sécurité très supérieures.

Quant aux appareils du cantonnement, la commission est d'avis qu'il n'y a pas lieu en ce moment de limiter, sous ce rapport, l'initiative et le choix ces compagnies.

. . . .

Frein Achard. — La compagnie de l'Est expérimente le frein électrique de M. Achard. Dans ce sys-

tème, déjà pratique et en voie de perfectionnement, l'électricité sert à établir la solidarité de l'un des essieux en mouvement, auquel on emprunte sa force vive, avec une sorte de treuil sur lequel s'enroule une chaîne agissant sur les leviers des freins pour en opérer le serrage.

Ce treuil, suspendu horizontalement comme un pendule au châssis du véhicule, est armé, à sa partie moyenne, d'un volumineux électro-aimant cylindrique et concentrique à l'arbre, placé à une petite distance de l'essieu, qui l'attire fortement et l'entraîne dans son mouvement dès qu'on produit l'aimantation en lançant le courant par la fermeture du circuit électrique de deux piles placées dans les fourgons de tête et de queue du train.

Chaque véhicule muni de son électro-aimant pendulaire, disposé pour actionner ses freins, est en communication avec un fil métallique qui règne sur toute la longueur du train. Des commutateurs permettent au mécanicien et à tout garde-frein d'enrayer instantanément toutes les roues du train.

La quantité d'électricité nécessaire pour produire à volonté plusieurs arrêts successifs, énergiques, rapprochés et prolongés, est obtenue à l'aide d'un accumulateur Planté qui emmagasine l'électricité de deux piles pendant les intervalles de l'action des freins.

Les expériences ont eu lieu jusqu'ici, sur le train rapide de Paris à Avricourt, composé de 5 à 6 voitures, non compris les fourgons, et portant deux freins Achard, l'un en tête, l'autre en queue. Elles ont été satisfaisantes, et la compagnie s'est décidée à prolonger l'essai sur un train de 10 voitures à frein, actuellement en construction. Ce frein a déjà fait éviter un accident près de

Lagny, en permettant d'arrêter le train dans l'espace de 200 mètres.

Le difficile est de graduer l'action de ce frein, de ne pas arriver à un calage complet des roues, et de modérer à volonté la vitesse sur les pentes. On n'y parvient jusqu'ici qu'en serrant et desserrant alternativement les freins ; mais M. Achard a imaginé une disposition permettant de faire varier à volonté la quantité d'électricité envoyée dans l'électro-aimant, et, par suite, la force avec laquelle cet organe s'applique sur le manchon de l'essieu ; mais cette modification n'a pas encore été expérimentée.

L'auteur peut rendre facilement son frein automatique par l'emploi de deux petites piles accessoires placées à chaque extrémité du train, dont l'action se neutralise en marche normale; il établit deux relais qui ne fonctionnent que lorsqu'il se produit une rupture d'attelage, et qui mettent alors en action les piles principales et produisent l'enrayage immédiat des deux parties séparées.

M. Achard a établi des contacts très larges et à fortes pressions, de manière à éviter les pertes d'électricité et à augmenter la sûreté de ses appareils. Son frein pourrait devenir dès aujourd'hui, de tous ceux qu'on a expérimentés, le plus instantané et le plus énergique; il semble enfin que ce soit ce système qui puisse le mieux arriver à se prêter, dans l'avenir, par la simplicité des attelages, à une application des freins continus aux trains mixtes et même aux trains de marchandises, en permettant de mettre instantanément en action, sinon des freins appliqués à tous les véhicules, ce qui ne serait pas nécessaire, tous au moins des groupes de freins placés en tête, en queue et au milieu de ces trains.

L'emploi des piles et de l'accumulateur Planté est une

sujétion qu'on reproche à ce frein ; mais on annonce une amélioration déjà essayée qui serait de nature à révolutionner ce système ; les piles disparaîtraient ; l'embrayage électrique serait produit par un courant d'induction obtenu à l'aide d'une machine Gramme mise en mouvement par l'un des essieux du véhicule. Cette importante amélioration n'en est encore qu'aux premières expériences, mais les résultats qu'elle a déjà donnés sembleraient promettre une réussite complète.

. . . .

Exploitation sur voie unique. — En France, deux systèmes d'exploitation sont en présence : le premier, qui semble donner le plus de garanties de sécurité, consiste à toujours demander la voie avant le départ de n'importe quel train. Ce système n'est cependant en usage que sur un seul réseau, celui de l'Est.

A chaque station munie d'appareils télégraphiques (appareil Morse), le départ de tout train régulier, aussi bien que celui de tout train facultatif ou spécial, doit toujours être annoncé au poste le plus prochain vers lequel il se dirige, alors même que l'ordre de marche indiquerait que ce poste doit être franchi sans arrêt ; et on ne le lance ou on ne le laisse passer. qu'autant que le stationnaire du poste suivant a répondu en donnant la voie. Les disques des gares sont normalement fermés et ne peuvent être ouverts aux trains directs que si la réponse permet de laisser passer le train. La plupart des autres mesures réglementaires sont d'ailleurs communes aux deux systèmes.

Le second système, adopté par toutes les autres compagnies, sans exception, n'oblige pas à demander la voie et à annoncer par le télégraphe le départ des trains réguliers ; cette obligation, que remplace avantageusement,

sur deux de nos réseaux, l'emploi des cloches électriques n'est de règle que pour l'envoi des trains facultatifs ou spéciaux.

Dans les deux systèmes, bien entendu, tous les changements de croisement ou toutes les interversions de trains, soit réguliers, soit facultatifs ou spéciaux, sont préalablement annoncés et acceptés par le télégraphe.

Les compagnies qui ont adopté le second système objectent au premier d'occasionner des retards sans utilité sérieuse, d'exiger dans les petites stations un personnel onéreux ou de surcharger les chefs de gare, de multiplier les dépêches uniformes, qui ne sont plus passées d'un poste à l'autre que machinalement, presque sans attention, et souvent même quand le train annoncé a déjà été expédié.

Le deuxième système, disent-elles, suffit complètement à assurer la sécurité en attribuant régulièrement la voie à un train déterminé, et cela sous la garantie de trois responsabités, celles du mécanicien, du chef de train et du chef de station. La demande de voie n'est pas nécessaire tant que la fixité des croisements est maintenue, et en service normal il y a bien des journées où il n'y a pas un seul croisement à déplacer. Avec le système de demande de voie pour tous les trains, ajoutent-elles, une interruption du télégraphe a pour résultat d'arrêter momentanément toute circulation.

Quelques-unes de ces objections, surtout la dernière, seraient facilement levées. La difficulté la plus grave à l'extension aux autres compagnies, du système de l'Est, consisterait dans la nécessité de changer, sans utilité bien démontrée, des règlements en usage depuis plus de vingt ans, et de modifier chez un nombreux personnel d'agents des habitudes prises. La commission ne voit

donc pas de motif suffisant pour imposer ce système aux compagnies qui ne l'ont pas encore adopté. Elle fait d'ailleurs remarquer que, pour les lignes à voie unique d'une assez grande fréquentation, les seules où le changement de système puisse avoir un intérêt sérieux, l'emploi des appareils de cantonnement à signaux extérieurs ou de cloches électriques qu'elle va être amenée à proposer, donnera à l'exploitation un surcroît de sécurité préférable à celui qu'on attendrait de la demande de voie par le télégraphe.

. . . .

Comme moyens de sécurité auxiliaires déjà expérimentés et incomparablement supérieurs à tous ceux que nous ont présentés les inventeurs, nous pouvons citer tous les appareils qui servent à établir le cantonnement des trains sur les lignes à double voie, pourvu qu'on les modifie de manière à les appliquer à prévenir l'introduction simultanée, sur une même section, de deux trains lancés en sens contraire. Tels sont les appareils Tyer, Regnault, etc. La sécurité que donnent ces appareils est bien plus grande quand, à l'imitation du système des électro-sémaphores Lartigue, on les enclenche avec les signaux extérieurs. Nous avons enfin les cloches électriques.

Le « Block-system » Lartigue, avec ses électro-sémaphores modifiés et complétés pour le service de la voie unique est déjà employé en Russie sur quelques tronçons, d'une longueur totale de 150 kilomètres, du chemin de fer de Saint-Pétersbourg à Varsovie. Il repose sur le même principe que le « Block-system » installé sur les lignes à double voie; seulement les enclenchements des bras sémaphoriques sont doublés, et quelques dispositions additionnelles sont prises, dans le but d'empêcher que la section ne puisse être ouverte à un bout qu'autant qu'elle

est fermée par un signal claveté à l'arrêt à l'autre extrémité.

La seule condition de l'efficacité absolue du système est donc que le mécanicien respecte les signaux d'arrêt. On peut pour plus de sécurité, doubler le signal optique d'un pétard manœuvré avec lui, ou, si les machines sont pourvues de sifflet électro-moteur, le munir d'un contact fixe, afin que le mécanicien soit forcément averti.

L'appareil Regnault, perfectionné et complété par l'addition de serrures électriques normalement fermées par un aimant, peut également être employé à bloquer rigoureusement des sections. La compagnie de l'Ouest se propose de l'appliquer à ses principales bifurcations et aux stations immédiatement voisines. Les signaux avancés des gares et les leviers de signaux d'arrêt absolu seront enclenchés avec les boutons d'arrivée des indicateurs et les serrures électriques seront établies de telle sorte que le stationnaire ne puisse effacer le signal d'arrêt absolu pour autoriser le départ d'un train, tant que l'aiguille de l'indicateur électrique annoncera par son inclinaison qu'un train marche en sens contraire. Ce stationnaire ne pourra également effacer le signal d'arrêt absolu pour autoriser le départ d'un train, quand bien même les aiguilles de l'indicateur seraient verticales, c'est-à-dire à voie libre, qu'après avoir signalé le départ du train à la gare suivante. Les mesures de sécurité se trouveront donc en quelque sorte accumulées.

Je ne parle pas de l'emploi d'un « Block-system » automatique basé sur le jeu d'appareils électriques actionnés par les trains eux-mêmes en marche, dont un assez grand nombre d'inventeurs ont proposé diverses solutions, la plupart très défectueuses. Aucun de ces systèmes n'a été jusqu'ici expérimenté. Le mieux étudié de beaucoup

qui nous ait été présenté est, sans contredit, celui de MM. Ducousso frères; on le trouvera décrit en détail et discuté dans la série des rapports présentés par la commission sur les inventions. Tout ingénieux qu'il soit, il ne nous a pas paru répondre aux besoins réels de l'exploitation, et nous ne l'avons trouvé succeptible d'aucune application pratique. Il serait effectivement dangereux de faire reposer la sécurité d'un train sur le jeu d'appareils automatiques aussi compliqués et à la fois aussi délicats, sujets à tous les accidents des courants électriques, et qui ne peuvent donner, en définitive, au mécanicien, d'autre avertissement qu'un simple coup de sifflet automoteur de sa machine, sans laisser aucune trace visible de ce signal qu'un autre agent puisse contrôler, quand une irrégularité de fonctionnement ou d'interprétation peut occasionner une catastrophe.

Si l'on veut appliquer le « Block-system » à la voie unique, ce n'est pas aux systèmes automatiques qu'il faut recourir, mais, comme je l'ai dit, aux appareils connus et déjà expérimentés. Les systèmes Lartigue ou Regnault, employés dans les conditions ci-dessus indiquées, ne pourraient laisser que bien peu de place aux causes d'accidents; il ne faut pas se dissimuler toutefois qu'ils pourraient introduire dans l'exploitation une complication coûteuse et gênante, et qu'ils ne donneraient aucun moyen de réparer une erreur, si par hasard elle avait été commise.

Cloches électriques. — Les cloches électriques sont généralement considérées comme d'un emploi plus pratique et d'une efficacité éprouvée déjà depuis longtemps en Allemagne, en Autriche, en Italie, en Hollande, etc., où elles sont devenues d'un usage général. Elles permettent d'annoncer le départ de chaque train par le signal le plus ra-

pide, équivalent à la demande de voie. Elles préviennent tous les gardes des passages à niveau de l'arrivée et du sens des trains. Elles permettent de signaler, sur toute la section, les véhicules partis en dérive.

Elles donnent enfin, avec la plus grande simplicité, cette ressource extrême du signal d'alarme ou d'arrêt de tous les trains, que tant d'inventeurs ont cherché en vain à réaliser par l'emploi des moyens les plus variés et les plus compliqués.

Deux compagnies ont adopté l'emploi de ces cloches: le Nord, sur la totalité de son réseau à voie unique (soit 1.291 kilomètres) ; Paris-Lyon-Méditerranée sur les 0,30 environ du sien (soit 924 kilomètres) ; et cette dernière en développe chaque jour l'application.

La compagnie du Nord emploie les appareils Siemens, à courant d'induction. A chaque station est placé un inducteur qui permet de produire un courant électrique dans le fil des sonneries, par la simple manœuvre d'une manivelle, et un commutateur qui permet de diriger ce courant à volonté sur l'une ou l'autre des sections entre lesquelles la station est placée. A chaque station et à tous les postes intermédiaires échelonnés sur la ligne, est placé un appareil récepteur dans lequel un poids, déclenché par le passage du courant, actionne un système de deux marteaux qui frappent, à chaque déclenchement, cinq coups doubles sur un gros timbre.

Les trains marchant dans un sens sont annoncés par une série de cinq coups, ceux allant en sens contraire par deux séries. Le signal d'alarme ou d'arrêt général, sorte de tocsin, est donné par une série de coups prolongée.

Les postes intermédiaires sont établis autant que possible à des passages à niveau où à d'autres postes déjà

gardés, et lorsque la distance de ces derniers dépasse 12 à 1.500 mètres, dans des guérites installées latéralement à la voie, Tous les agents de la voie sont ainsi initiés, comme ceux des stations et des trains, au mouvement de la marche des trains et appelés à concourir à leur sécurité. S'ils entendent annoncer successivement l'expédition de deux trains de sens contraire, ils doivent faire le signal d'arrêt au premier train qui se présente, et employer tous les moyens prescrits pour prévenir la collision.

La compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a donné la préférence aux cloches autrichiennes (système Léopolder, de Vienne), installées sur un fil à courant électrique continu, alimenté par des piles placées au pied des appareils à cloches des gares. Les appareils des stations en correspondance, ainsi que ceux des maisons de gardes et des guérites comprises entre deux stations, sont donc placés sur le même circuit, et il suffit d'interrompre, puis de rétablir le courant, sur un point quelconque de ce circuit pour produire le choc simultané des marteaux sur toutes les cloches.

Les appareils installés dans les postes intermédiaires ont chacun leur commutateur recouvert d'une plaque scellée à la cire, de telle sorte qu'en cas de danger, un garde-ligne n'a qu'à briser le scellé pour avoir un moyen de donner sur toute la section le signal d'alarme.

Cette disposition constitue l'avantage principal du système Léopolder sur le système Siemens, qui ne permet pas aux agents des postes intermédiaires de produire de signaux si l'imminence d'un accident vient à se manifester.

On reproche aux cloches électriques la monotonie et le caractère fugitif de leurs signaux, la confusion qui

peut en résulter dans le souvenir des agents de la voie et qui peut occasionner, soit des arrêts intempestifs de trains, soit, ce qui serait plus grave, l'inobservation des signaux transmis.

L'expérience faite sur les lignes allemandes, où plus de 50,000 de ces appareils sont en service, et sur deux réseaux français, où les cloches protègent déjà la circulation sur plus de 2,000 kilomètres de voie unique, répond suffisamment à ces objections et démontre qu'elles n'ont pas de fondement sérieux.

Les cloches s'adressent non pas tant aux agents du service proprement dit de la voie, habituellement attentifs aux signaux, qu'aux gardiens des passages à niveau, qui sont toujours à leur poste. Même sur les lignes où on en a en quelque sorte abusé, en les employant à transmettre un grand nombre de signaux spéciaux, elles n'ont jamais causé d'accident. Elles en ont, au contraire, déjà beaucoup prévenu. Ainsi, sur le réseau du Nord, elles ont déjà fait éviter huit accidents graves : un seul aurait suffi à justifier la dépense de leur établissement. Sur les lignes de la Méditerranée, on n'a commencé à les utiliser que depuis l'accident de Châtillon, et cependant elles ont déjà prévenu, sur la section de Culoz à Modane, grâce à un signal parti d'un poste intermédiaire, un accident qui eût été certainement très grave. On en étend chaque jour l'application.

Sans revenir, en terminant, sur les avantages de ces cloches, je me bornerai à rappeler, en insistant, que leur emploi n'entraîne aucune modification dans les règlements en vigueur ; que seules, elles peuvent donner le moyen si précieux de réparer une erreur si elle venait à être commise ; qu'elles constituent enfin le seul système préservatif qui puisse permettre à certaines lignes qui

auraient à prendre subitement une importance stratégique, de donner passage avec sécurité à des mouvements considérables et inattendus de troupes et de matériel.

La commission croit donc pouvoir signaler au Ministre l'emploi de ces cloches comme le système auxiliaire qui lui paraît le plus pratiquement utile pour augmenter la sécurité de l'exploitation des chemins de fer à voie unique.

Les mesures, pour assurer cette sécurité, doivent d'ailleurs dépendre de l'importance du trafic :

Sur les sections qui n'ont pas plus de six trains réguliers par jour, dans chaque sens, les règlements existants peuvent suffire.

Cependant, en y superposant le système anglais du bâton, qui se prêterait facilement à l'exploitation de ces lignes, on en augmenterait efficacement la sécurité.

Sur les sections qui ont plus de six trains réguliers dans chaque sens, en vingt-quatre heures, la commission est d'avis qu'il y a lieu de demander aux compagnies l'application progressive soit des cloches électriques, soit, si elles le préfèrent, du « Block-system » à signaux extérieurs, en commençant par les sections à la fois les plus chargées de trafic et les plus longues, et de préférence par celles de ces sections parcourues par des trains ne s'arrêtant pas à toutes les stations.

. . . .



TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE.

RECHERCHES SUR LA RADIOPHONIE.

PAR M. E. MERCADIER.

(2e article.)

Dans un premier travail publié dans le dernier numéro des *Annales* j'ai montré : 1° que les effets sonores résultant de l'action d'une radiation intermittente sur des lames minces d'un *corps solide* et que M. G. Bell attribuait à une transformation d'énergie lumineuse étaient réellement le résultat d'une transformation d'énergie *thermique;* 2° que l'intensité de ces effets dépendait principalement de la *nature de la surface* du récepteur et qu'elle était singulièrement augmentée quand cette surface était recouverte de substances telles que le noir de fumée, le noir de platine, le bitume de Judée... etc., qui absorbent beaucoup la chaleur rayonnante.

Il résultait de cette première étude que la substance où s'opérait la transformation était la couche de gaz adhérente à la surface des récepteurs. — Mais il me restait (I) à démontrer ce point nettement; (II) à en expliquer le *mécanisme;* (III) à faire d'une manière analogue l'étude des liquides et des gaz considérés comme récepteurs de radiations intermittentes.

Telles sont les nouvelles recherches que j'ai faites et

en voici les principaux résultats publiés déjà sommairement dans deux notes aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCII, février 1881, p. 409 et 480.

I

D'abord la *substance où se produit la vibration est bien la couche d'air en contact avec les parois des récepteurs.*

Pour ajouter de nouvelles preuves à celles qui résultaient de mes premières études j'ai changé la forme des récepteurs.

Je les ai formés (*fig.* 1) d'un tube de verre T bouché ou non à une extrémité, communiquant par l'autre avec un petit cornet acoustique par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc aussi court que possible.

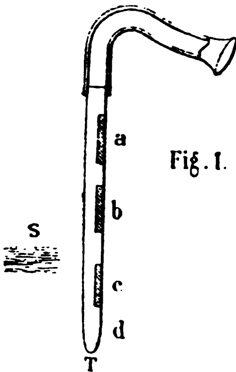


Fig. 1.

On peut alors faire tomber sur ces tubes le faisceau radiant S, concentré ou non à l'aide d'un système optique avant son passage à travers une ou les quatre ouvertures de la roue interruptrice décrite précédemment.

On peut d'ailleurs boucher l'extrémité inférieure de ce tube, ce qui n'offre aucun inconvénient. On peut même fermer l'extrémité supérieure où se trouve ajusté le tube en caoutchouc avec une lame mince de verre ou de mica, ce qui ne fait qu'affaiblir un peu les sons produits, mais qui présente l'avantage de pouvoir *enfermer* dans le tube des liquides et des gaz ou des vapeurs.

On enfume la partie *intérieure* du haut du tube sur une moitié seulement en *a*.

Si on présente la partie inférieure *d* non enfumée à la radiation intermittente S, on n'entend, même avec la lumière oxhydrique, que des sons assez faibles, l'air étant très faiblement échauffé. Mais si l'on présente à la radiation la partie enfumée *a* de façon qu'elle traverse d'abord la portion transparente du tube, on entend des sons très intenses, la couche d'air adhérente au noir de fumée du tube étant fortement échauffée par suite de l'absorption par cette substance de la chaleur rayonnante.

Au lieu d'enfumer l'intérieur du tube, ce qui présente quelques difficultés, on peut y introduire un demi-cylindre d'une substance à peu près *quelconque* enfumée, *papier*, *mica*, cuivre, zinc, platine, aluminium, etc... En les superposant dans le tube (*fig.* 1) en *c*, *b*, *a*,... on reconnaît qu'elles produisent toutes des sons intenses, mais dont l'intensité varie très peu avec la nature de ces substances, toutes choses égales d'ailleurs.

Du reste, l'intensité des sons croît jusqu'à une certaine limite avec l'épaisseur de la couche de noir de fumée déposée sur le verre.

C'est donc principalement l'air condensé par le noir de fumée qui vibre. Une autre preuve de ce fait résulte de ce que, si la couche enfumée est *extérieure* au tube, elle est sans influence sensible sur les effets produits.

On le démontre nettement à l'aide de l'expérience suivante (*fig.* 2).

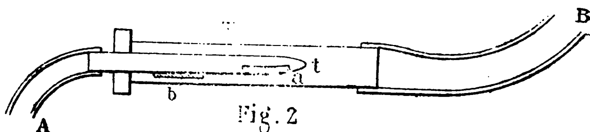


Fig. 2

Un premier tube *t* bouché renferme *intérieurement* un demi-cylindre de mica enfumé *a* : extérieurement et le

long des mêmes générateurs, en *b*, il est enfumé, il communique avec un cornet acoustique A par un tube en caoutchouc. Ce tube est fixé à l'aide d'un bouchon à l'intérieur d'un tube plus large T aboutissant à un autre cornet B.

Lorsqu'on expose la partie *a* aux radiations intermittentes on entend des sons intenses en A et rien en B; c'est l'air intérieur de *t* qui vibre. Si l'on éclaire la partie *b* on n'entend rien en A et l'on entend en B; c'est l'air extérieur à T qui vibre.

Du reste on peut dire que toute substance susceptible de condenser de l'air à sa surface mise dans un tube récepteur produit des sons plus intenses que l'air seul. On le voit aisément en introduisant dans un tube des morceaux de fusain, de bois, de drap, de papier buvard... On s'explique maintenant sans difficulté le rôle de ces deux substances.

En m'appuyant sur ces propriétés, j'ai pu construire très simplement des récepteurs *thermo-sonores* très sensibles. Il m'a suffi, à cet effet, de prendre des tubes à essais en verre mince de $0^m,05$ de longueur sur $0^m,005$ ou $0^m,007$ de diamètre contenant une petite plaque de mica ou de clinquant de cuivre enfumé.

La sensibilité de ces récepteurs est beaucoup plus grande que celle des appareils que j'avais d'abord employés; ils produisent des sons perceptibles sans aucune difficulté sous l'influence des radiations les plus faibles au point de vue lumineux, comme celles du gaz, d'une lampe à huile, d'une bougie, d'une lampe à alcool, d'un morceau de bois ou de charbon rouge, d'une plaque de cuivre chauffée à 300°.

On peut même réduire beaucoup le diamètre de ces récepteurs sans diminuer beaucoup la sensibilité. La *fig.* 3

représente en vraie grandeur un appareil de ce genre bouché à une extrémité avec un peu de cire à cacheter et qui constitue ce qu'on pourrait appeler un récepteur *thermophonique linéaire*, par analogie avec ce qu'on nomme une pile *thermo-électrique linéaire*.

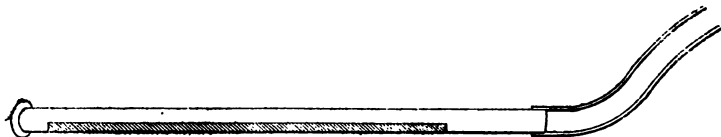


Fig. 3.

Je reviendrai plus tard sur cette analogie. Pour le moment, je ferai remarquer que cette forme réduite de récepteur permet aisément d'explorer un spectre, comme avec une pile thermo-électrique linéaire. J'ai pu ainsi répéter beaucoup plus facilement que précédemment l'expérience du spectre décrite à la page 563 (t. VII).

J'ai retrouvé le même résultat en le précisant encore davantage, ce qui s'obtient en interposant une fente de 2 millimètres de largeur entre les rayons dispersés par le prisme et la lentille cylindrique qui les concentre sur la roue interruptrice, et même en supprimant cette lentille : on étudie ainsi le spectre de 2 en 2 millimètres. On peut affirmer ainsi que dans les spectres de 35 à 40 millimètres de longueur obtenus avec la lumière solaire, la lumière électrique et la lumière oxhydrique, la partie active s'étend de l'orangé à l'infra-rouge jusqu'à une distance de la limite du rouge visible égale au moins au quart de la longueur du spectre. Le maximum d'effet se produit dans l'infra rouge.

D'ailleurs, si au lieu d'employer des radiations de faible intensité on se sert de la lumière oxhydrique et de la

lumière électrique, on obtient des effets sonores assez énergiques; car en remplaçant le cornet acoustique par un cône renforçant en papier ou en métal, on peut entendre les sons de la lumière oxhydrique à un ou deux mètres de distance et ceux que produit la lumière électrique à 8 ou 10 mètres dans une salle où règne un silence complet.

Il est à remarquer que certains sons seulement, parmi les sons de hauteur variable qui résultent de la variation de vitesse de la roue interruptrice peuvent être ainsi renforcés. L'explication de cette particularité résultera nettement des faits contenus dans le § II qui va suivre.

II.

Arrivons maintenant au *mécanisme* de la transformation thermophonique qui constitue la cause des phénomènes précédents.

Après les explications et expériences indiquées je pense qu'il se voit assez clairement, et qu'on peut l'exprimer ainsi :

La couche d'air condensé sur les parois des récepteurs, surtout quand ils sont enfumés ou recouverts d'une substance très absorbante pour la chaleur, est alternativement échauffée et refroidie par les radiations intermittentes : il en résulte des dilatations et condensations périodiques et régulières; d'où un mouvement vibratoire communiqué aux couches gazeuses voisines, qui d'ailleurs peuvent vibrer directement sous la même influence.

En effet, si c'est bien là le mécanisme de la transformation thermophonique, la conséquence immédiate qui en résulte est que des récepteurs du genre de ceux qu'on vient de décrire, convenablement allongés, doivent constituer de véritables tuyaux *thermophoniques*, ou, si

l'on veut *thermosonores*, ne différant des tuyaux sonores ordinaires qu'en ce qu'au lieu d'être mis en vibration par un courant d'air ou de gaz identique à celui que contient le tuyau, ils le sont par une radiation thermique intermittente.

Une expérience très simple et qui réussit sans difficulté suffit pour mettre cette identité en évidence.

On prend un long tube en verre T (*fig. 4*) dans lequel peut se mouvoir un piston P à l'aide d'une tige. A l'extrémité du tube on place à l'intérieur un morceau de mica

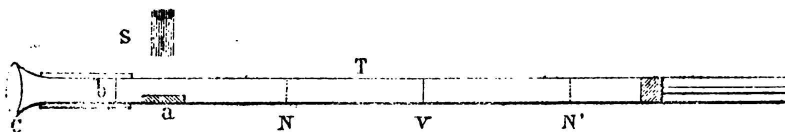


Fig. 4.

enfumé *a* : on laisse cette extrémité ouverte ou bien on la bouche avec une lame de verre ou de mica en *b*, et l'on y ajuste, par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc ou en métal un cornet acoustique *c*.

On fait tomber en *a* le faisceau radiant intermittent S, on place le piston en *a* et l'on écoute en C. On entend un son comme dans les récepteurs beaucoup plus courts. On maintient constante la vitesse de la roue interruptrice et, par suite, la hauteur du son produit. En retirant alors graduellement le piston, l'intensité du son éprouve des variations périodiques qui vont jusqu'à l'extinction en des points N, N'... avec des maxima en V...; on obtient ainsi des nœuds et des ventres absolument comme dans un tuyau sonore qui serait percé d'une ouverture dans le plan *a* par laquelle arriverait un courant d'air.

Si l'on change la vitesse de la roue interruptrice en la maintenant constante quand elle a atteint une nouvelle

valeur, on reproduit la même expérience. La distance seule entre deux nœuds consécutifs N N' change.

On a donc bien là un tuyau sonore susceptible de rendre tous les sons qu'on peut produire en changeant la vitesse de la roue interruptrice, c'est-à-dire la période d'intermittence de la radiation thermique, cause déterminante des vibrations.

Il en résulte la possibilité de répéter avec ces tuyaux les expériences de Dulong relatives à la mesure de la vitesse du son dans l'air et les gaz.

Je me suis assuré sommairement de cette possibilité à l'aide d'un appareil grossièrement constitué, et je pense que des déterminations de ce genre pourront présenter une assez grande exactitude : 1° à cause de la facilité d'enfermer dans ces tuyaux des gaz à une pression et à une température constantes, puisque ce n'est pas le courant du gaz lui-même qui produit l'ébranlement; 2° parce qu'il n'y a pas à l'orifice les perturbations qui existent dans les tuyaux ordinaires.

D'autre part, connaissant la longueur d'onde d'un son donné dans l'air, on peut déterminer les longueurs de tuyaux de raccordement les plus convenables, pour qu'en reliant entre eux plusieurs tubes récepteurs semblables à ceux qu'on vient de décrire, on puisse, en les exposant *simultanément* à l'action de plusieurs sources radiantes identiques, renforcer les effets produits. On peut former ainsi des sortes de *piles termophoniques* avec des éléments disposés *en surface* ou en *série*. Je reviendrai plus tard sur ces dispositions, car les appareils de ce genre que j'ai construits ne donnent pas encore de résultats assez intéressants pour qu'il soit nécessaire de les décrire en détail.

THÉORIE DES QUATERNIONS.

CONFÉRENCES FAITES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE TÉLÉGRAPHIE
PAR M. SARRAU,
Ingénieur en chef des poudres et salpêtres, répétiteur
à l'École polytechnique.

I

Cet exposé très succinct de la théorie des quaternions est fait spécialement en vue de ses applications à la physique, applications qui sont devenues fréquentes dans les ouvrages anglais, et notamment dans le traité de Maxwell : *Electricity and Magnetism*.

La considération des symboles désignés sous le nom de *quaternions* est une extension de la théorie des quantités imaginaires. Cette dernière théorie a son point de départ dans l'algèbre où le symbole $\sqrt{-1}$ s'impose dès la résolution de l'équation du second degré. On sait quel usage fécond en ont fait les géomètres. Sans les quantités imaginaires, il eût été impossible de compléter la théorie des fonctions, ou d'établir celle des fonctions doublement périodiques.

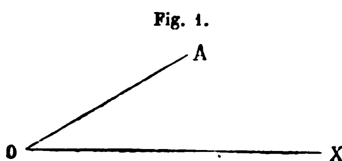
L'origine des quaternions est différente ; ils ne dérivent pas d'une théorie préalablement établie ; ainsi que nous le verrons bientôt, ils dérivent purement et simplement de conventions tout à fait arbitraires.

Les quantités imaginaires peuvent être envisagées à deux points de vue :

1° Au point de vue analytique. — Sans attacher aucune signification au symbole $\sqrt{-1}$, on convient de lui appliquer toutes les règles des opérations algébriques, en remplaçant seulement $(\sqrt{-1})^2$ par -1, $(\sqrt{-1})^3$ par $-\sqrt{-1}$, etc.... On peut même remplacer $\sqrt{-1}$ par la lettre i, sur laquelle on opérera comme sur les autres quantités, sauf à remplacer, dans le résultat final, les diverses puissances de i par leurs valeurs. On sait à quels résultats importants on est ainsi arrivé.

2° Au point de vue géométrique. — Cauchy a eu l'idée de condenser en un seul symbole la double notion de grandeur et de direction.

Fig. 1.



Ainsi, à partir d'un point fixe, portons une longueur OA (*fig.* 1) sur une droite dont la direction est définie par rapport à un axe fixe OX.

Le *vecteur* OA représentera la droite OA simultanément en grandeur et en direction. De cette façon, et, sans même avoir besoin de mentionner le symbole $\sqrt{-1}$, Cauchy a pu établir une théorie complète, et jeter les fondements d'une algèbre dont le point de départ est le le symbolisme que nous venons d'indiquer.

Quant à la théorie des quaternions, elle est née en Angleterre, et c'est là surtout qu'elle s'est développée. Elle fut imaginée par Hamilton, vers 1853, et son auteur en tira un parti important pour la solution simple d'un certain nombre de questions de géométrie. Après Hamilton, la théorie fut reprise en Italie par Bellavitis, qui a ainsi étendu sa méthode des équipollences où il n'employait que les imaginaires ordinaires. En même temps, un dis-

ciple d'Hamilton, M. Tait, régularisait en Angleterre l'étude des quaternions qui s'y est répandue dans les universités. En Allemagne, Grassmann a, vers 1844, introduit un mode de calcul dont la base est semblable.

En France enfin, il faut citer, avant les travaux d'Hamilton, un mémoire de M. de Saint-Venant (1845), les clefs algébriques de Cauchy (1855), et la thèse de M. Allegret, qui fut le premier travail d'ensemble sur la matière.

Depuis, M. Houel a publié un traité des quantités complexes comprenant, comme cas particulier, le calcul des quaternions (1874). En 1877, enfin, M. Laisant a appliqué cette théorie à la mécanique rationnelle.

Considérons un certain nombre d'unités symboliques :

$$i_1,\ i_2,\ i_3,\ \ldots\ i_n$$

indépendantes les unes des autres, et irréductibles entre elles ainsi qu'avec l'unité qui sert à former les quantités réelles, c'est-à-dire qu'elles sont similaires de l'unité i qui sert à former les quantités imaginaires. Ces unités ont reçu de Cauchy le nom de « clefs ».

On appelle *quantité complexe* une expression de la forme :

$$A = a_0 + a_1 i_1 + a_2 i_2 + \cdots + a_n i_n,$$

où a_0, a_1, a_2,... a_n sont des quantités réelles. On voit qu'une quantité complexe se décompose en une partie réelle a_0 et une autre partie $a_1 i_1 + \ldots + a_n i_n$ qui est purement symbolique et ne peut, *a priori*, présenter plus de signification que les quantités de la forme ai qu'on envisage dans la théorie des quantités imaginaires.

On pose, *a priori*, que tous les termes d'une quantité complexe où entre une clef différente sont irréductibles

entre eux, en sorte qu'une relation linéaire ne peut exister entre les clefs, sans que tous les coefficients en soient nuls séparément. Si donc, par une suite de calculs, on est amené à une relation de la forme :

$$\alpha_0 + \alpha_1 i_1 + \alpha_2 i_2 + \ldots + \alpha_n i_n = 0;$$

il faut nécessairement que l'on ait :

$$\alpha_0 = a_1 = a_2 = \ldots = \alpha_n = 0.$$

Il est naturel de chercher à appliquer au calcul des quantités complexes le plus grand nombre possible des règles qui président aux opérations algébriques. C'est ce qu'on a fait pour l'addition. Ainsi on appellera *somme* de deux quantités complexes le résultat obtenu en ajoutant leurs parties similaires. Par exemple ayant :

$$A = a_0 + a_1 i_1 + a_2 i_2 + \ldots + a_n i_n$$
$$B = b_0 + b_1 i_1 + b_2 i_2 + \ldots + b_n i_n;$$

on appellera, par définition, $A + B$ la quantité complexe :

$$a_0 + b_0 + (a_1 + b_1) i_1 + (a_2 + b_2) i_2 + \ldots + (a_n + b_n) i_n.$$

Mais, si nous passons à la multiplication, nous trouvons la première trace des suppositions purement conventionnelles sur lesquelles repose le calcul des quantités complexes.

Étant donné les deux qnantités :

$$A = a_0 + a_1 i_1 + \ldots + a_r i_r + \ldots + a_n i_n$$
$$B = b_0 + b_1 i_1 + \ldots + b_t i_t + \ldots + b_n i_n,$$

on peut les multiplier en les considérant comme des polynômes algébriques, et leur appliquant les règles connues dans ce cas. Le terme général du produit ainsi obtenu sera :

$$a_r b_t i_r . i_t .$$

Or on ne considère pas comme égaux les deux produits

$$i_r . i_t, \text{ et } i_t . i_r$$

obtenus par la permutation des indices dans le produit de deux unités. Il en résulte qu'on ne peut réduire le terme $a_r b_t i_r \cdot i_t$ avec le terme $a_t b_r i_t \cdot i_r$,

Quoi qu'il en soit, le produit qu'on représentera par A.B s'écrira :

$$AB = \sum a_r b_t i_r . i_t.$$

Cela posé, chaque système de quantités complexes sera caractérisé par la valeur attribuée conventionnellement au produit $i_r \cdot i_t$, valeur qui pourra, suivant les cas, être — 1, ou bien 0 ou i_k.

Par exemple, dans un système considéré par Grassmann et Cauchy on ne suppose pas de parties réelles dans A et B, en sorte que

$$a_0 = b_0 = 0.$$

De plus, on convenait de considérer comme égaux et de signes contraires les deux produits $i_r \cdot i_t$ et $i_t \cdot i_r$:

$$i_r . i_t = - i_t . i_r.$$

Enfin on convenait de remplacer par zéro le produit d'une clef par elle-même :

$$i_r . i_r = 0.$$

Cauchy a pu présenter ainsi sous une forme simple la théorie des déterminants.

Il est clair qu'en faisant de telles hypothèses, on ne peut plus appliquer toutes les règles du calcul des quantités algébriques. Par exemple, dans le système de Grassmann, un produit peut être nul, sans qu'aucun de ses facteurs le soit.

Quand on veut constituer un de ces systèmes, la condition la plus importante à imposer aux clefs, c'est de conserver le plus possible des propriétés des quantités algébriques. En particulier, on a grand intérêt à ce que, pour multiplier une quantité par un produit tout fait, il suffise de la multiplier par chacun des facteurs de ce produit.

Ainsi, ayant trois quantités complexes :

$$\begin{aligned} A &= a_0 + a_1 i_1 + \dots + a_r i_r + \dots\dots\dots\dots + a_n i_n \\ B &= b_0 + b_1 i_1 + \dots\dots + b_s i_s + \dots\dots\dots + b_n i_n \\ C &= c_0 + c_1 i_1 + \dots\dots\dots\dots + c_t i_t + \dots\dots + c_n i_n \end{aligned}$$

formons le produit B.C en multipliant B par C :

$$BC = \sum b_s c_t i_s . i_t.$$

Multiplions A par le produit BC :

$$A \times (BC) = \sum a_r b_s c_t i_r (i_s . i_t).$$

Au lieu de cela, commençons par multiplier A par B :

$$AB = \sum a_r b_s i_r . i_s,$$

puis AB par C :

$$AB \times C = \sum a_r b_s c_t (i_r . i_s) i_t.$$

Pour que le produit effectué de ces deux manières différentes soit le même, il suffit évidemment que les termes généraux soient les mêmes, ce qui exige :

$$i_r \times (i_s . i_t) = (i_r . i_s) \times i_t.$$

En faisant sur les clefs l'hypothèse exprimée par cette équation, on aura réalisé la condition à lequelle on s'était proposé de satisfaire.

Hamilton a satisfait à ces conditions dans sa théorie

des quaternions dont nous allons désormais nous occuper exclusivement.

Hamilton appelle *quaternion* une quantité à quatre termes de la forme :

$$A = s + xi + yj + zk$$

qui se décompose en une partie réelle s et une partie symbolique $xi + yj + zk$, où i, j, k sont trois unités imaginaires. Nous verrons bientôt à quelles conditions il assujettit ces trois unités. La partie réelle est la partie *scalaire* (scalar), et se désigne par S :

$$SA = s.$$

L'ensemble de la partie symbolique s'appelle le *vecteur* (vector); il se désigne par V :

$$VA = xi + yj + zk.$$

Par suite on a identiquement :

$$A = SA + VA.$$

On appelle *quaternion conjugué* de A un quaternion ayant même partie réelle et une partie symbolique égale et de signe contraire; on le désigne par KA, en sorte qu'on a :

$$KA = s - xi - yj - zk.$$

Enfin le *module* d'un quaternion est la racine carrée des sommes des carrés de toutes les quantités réelles qui figurent dans ce quaternion ; on le désigne par TA, T étant l'initiale du mot (tensor) :

$$TA = \sqrt{s^2 + x^2 + y^2 + z^2}.$$

En divisant un quaternion par son tenseur, on a un quaternion de module égal à 1 ; on le représente par UA :

$$UA = \frac{s + xi + yj + zk}{\sqrt{s^2 + x^2 + y^2 + z^2}}.$$

Quelles sont les relations particulières entre les clefs, qui caractérisent le système d'Hamilton?

Soient deux quaternions :

$$A = s + xi + yj + zk$$
$$A' = s' + x'i + y'j + z'k.$$

On fera leur produit d'après les règles ordinaires de l'algèbre, mais en observant avec soin l'ordre des facteurs ; l'expression obtenue contiendra les carrés des unités et leurs produits deux à deux.

Hamilton pose :

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1.$$

c'est-à-dire qu'il traite ces trois unités comme le symbole i des quantités imaginaires.

Il pose, en outre :

$$jk = -kj = i$$
$$ki = -ik = j$$
$$ij = -ji = k.$$

En tenant compte de ces relations, on trouve un produit qui lui-même est un quaternion :

$$\begin{aligned} AA' = ss' - xx' - yy' - zz' \\ + [(sx' + s'x) + (yz' - zy')]i \\ + [(sy' + s'y) + (zx' - xz')]j \\ + [(sz' + s'z) + (xy' - yx')]k. \end{aligned}$$

On aura, au contraire, le produit de A' par A en permutant x, y, z avec x', y', z' :

$$\begin{aligned} A'A = ss' - xx' - yy' - zz' \\ + [(sx' + s'x) - (yz' - zy')]i \\ + [(sy' + s'y) - (zx' - xz')]j \\ + [(sz' + s'z) - (xy' - yx')]k. \end{aligned}$$

Considérons quelques cas particuliers des produits de deux quaternions :

1° Les deux quaternions sont conjugués. — Le pro-

duit est égal au carré du module, comme celui de deux quantités imaginaires conjuguées.

En effet

$$s' = s, \quad x' = -x, \quad y' = -y, \quad z' = -z.$$

Donc

$$A.KA = s^2 + x^2 + y^2 + z^2 = \overline{TA}^2.$$

D'ailleurs, il est clair que le produit KA.A a la même valeur, en sorte que, dans ce cas, on peut permuter les deux facteurs.

2° Les deux quaternions se réduisent à des vecteurs. — Nous les représenterons alors par α et α'.

On a $s = s' = 0$ et, par suite :

$$\alpha\alpha' = -(xx' + yy' + zz') \\ + (yz' - zy')i + (zx' - xy')j + (xy' - yx')k.$$

Si l'on permute les deux facteurs, on a :

$$\alpha'\alpha = -(xx' + yy' + zz') \\ - (yz' - zy')i - (zx' - x'z)j - (xy' - yx')k.$$

On voit que la partie scalaire de ces deux produits est la même :

$$S(\alpha\alpha') = S(\alpha'\alpha) = -(xx' + yy' + zz').$$

La partie symbolique est égale, mais de signe contraire :

$$V(\alpha\alpha') = -V(\alpha'\alpha) = (yz' - zy')i + \ldots$$

En ajoutant et retranchant successivement les deux équations qui donnent les valeurs de $\alpha\alpha'$ et $\alpha'\alpha$, on obtient les deux relations suivantes qui sont fort importantes :

$$S(\alpha\alpha') = \frac{1}{2}(\alpha\alpha' + \alpha'\alpha)$$

$$V(\alpha\alpha') = \frac{1}{2}(\alpha\alpha' - \alpha'\alpha).$$

Théorème. — Le conjugué d'un produit de deux quaternions est égal au produit de leurs deux conjugués pris dans l'ordre inverse, c'est-à-dire que l'on a :

$$K(AA') = KA'.KA.$$

Cette relation n'est autre chose qu'une identité facile à vérifier d'après ce qui précède.

Supposons donc ce théorème établi : on en déduit le corollaire suivant :

Le module d'un produit de deux quaternions est égal au produit de leurs modules.

En effet, considérons le produit $AA'.K(AA')$.

D'après le théorème précédent, l'on a :

$$AA'.K(AA') = AA'.KA'.KA = A(A'.KA').KA$$
$$= A.\overline{TA'}^2.KA = \overline{TA'}^2.A.KA = \overline{TA'}^2.\overline{KA}^2.$$

D'autre part, l'on a :

$$AA'.K(AA') = (\overline{TAA'})^2.$$

Il en résulte :

$$(\overline{TAA'})^2 = \overline{TA'}^2 \times \overline{TA}^2. \qquad \text{C. Q. F. D.}$$

Cette démonstration est un exemple de la concision avec laquelle s'établissent certains théorèmes dans la théorie des quaternions.

Voyons maintenant la représentation géométrique des quaternions :

Occupons-nous d'abord des vecteurs.

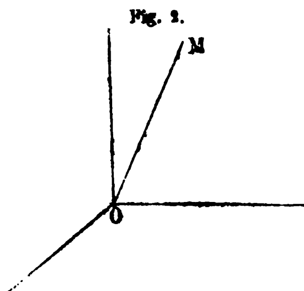
Soit le vecteur $\alpha = xi + yj + zk$.

Il est naturel de le représenter, dans un système de coordonnées rectilignes, en grandeur et en direction, par la droite OM (*fig.* 2) dont l'extrémité M a pour coordonnées x, y et z. Il est clair que OM est le module.

L'addition des vecteurs se représente alors facilement :

Soient des vecteurs en nombre quelconque :

Fig. 2.



$$\alpha = xi + yj + zk$$
$$\alpha' = x'i + y'j + y'k$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

Leur somme sera un vecteur :

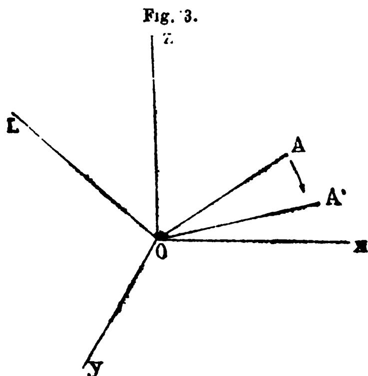
$$\alpha_r = x_r i + y_r j + z_r k,$$

et l'on aura :

$$x_r = x + x' + \ldots$$
$$y_r = y + y' + \ldots$$
$$z_r = z + z' + \ldots$$

Le vecteur obtenu n'est donc autre que celui qui ferme le polygone construit en portant à la suite les uns des autres les divers vecteurs à ajouter.

Fig. 3.



Quant au produit de deux vecteurs, rappelons une formule de géométrie analytique. Supposons qu'on ait dans l'espace deux droites OA, OA' (*fig.* 3) dont les cosinus directeurs sont a, b, c et a', b', c'. Soient l, m, n les cosinus directeurs d'une droite OL perpendiculaire à chacune d'elles. On a :

$$\begin{cases} al + bm + cn = 0 \\ a'l + b'm + c'n = 0, \end{cases}$$

d'où l'on tire :

$$\frac{l}{bc'-cb'}=\frac{m}{ca'-ac'}=\frac{n}{ab'-ba'}=\pm\frac{1}{\sqrt{(bc'-cb')^2+\ldots}}$$
$$=\pm\frac{1}{\sin\omega};$$

ω étant l'angle des deux droites données.

Quel est le signe à prendre?

Voici la convention qu'il y a lieu de faire :

On appellera axe des deux directions OA, OA', celle des deux directions perpendiculaires à chacune d'elles qui se définit de la façon suivante : Un observateur placé suivant cette direction et ayant les pieds sur le plan AOA', doit voir le mouvement s'effectuer de OA vers OA' dans le sens direct, c'est-à-dire de gauche à droite.

Il convient donc de prendre garde à l'ordre dans lequel on énonce les deux vecteurs dont on veut prendre l'axe; et, en effet, en appliquant la règle précédente à la recherche de l'axe des vecteurs OA', OA, on trouverait la direction opposée.

Cette convention établie, quel signe devons-nous prendre dans les formules précédentes pour trouver les valeurs de l, m, n qui donnent l'axe ainsi défini? Pour le voir, considérons un cas particulier. Supposons que les deux droites soient OX et OY. On a alors :

$$a=1,\quad b=c=0,$$
$$a'=0,\quad b'=1,\quad c'=0.$$

Il faut évidemment trouver la partie positive de l'axe des z, c'est-à-dire $l=0$, $m=0$, $n=+1$, ce qui exige qu'on prenne le signe $+$ devant $\frac{1}{\sin\omega}$. Nous écrirons donc les formules précédentes ainsi :

$$\frac{l}{bc'-cb'}=\frac{m}{ca'-ac'}=\frac{n}{ab'-ba'}=+\frac{1}{\sin\omega}.$$

Revenons au produit de deux vecteurs. Nous avons vu que

$$\alpha\alpha' = -(xx' + yy' + zz') \\ + (yz' - zy')i + (zx' - xz')j + (xy' - yx')k,$$

expression qui contient une partie réelle et une partie symbolique.

Soient r et r' les modules des deux vecteurs OA et OA'. On a :

$$\begin{cases} x = ar \\ y = br \\ z = cr \end{cases} \qquad \begin{cases} x' = a'r' \\ y' = b'r' \\ z' = c'r' \end{cases}$$

En substituant ces valeurs dans $\alpha\alpha'$, on trouve pour la partie réelle :

$$S(\alpha\alpha') = -rr'(aa' + bb' + cc') \\ = -rr' \cos\omega.$$

Quant à la partie symbolique, elle devient :

$$V(\alpha\alpha') = rr'[(bc' - cb')i + \ldots],$$

ou bien, en remarquant que l'on a, comme nous l'avons vu tout à l'heure :

$$\begin{cases} bc' - cb' = l \sin\omega \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

$$V(\alpha\alpha') = rr' \sin\omega (li + mj + nk).$$

Tel est le vecteur qui représente la partie symbolique. On voit qu'il représente en position et en direction l'axe des deux vecteurs proposés. Pour avoir son extrémité, on y portera à partir de l'origine une longueur égale au module, c'est-à-dire à $rr' \sin\omega$, qui n'est autre chose que l'aire du parallélogramme construit sur OA et OA'.

Passons à la représentation géométrique des quaternions.

Soit le quaternion :

$$A = s + xi + yj + zk = s + \text{un vecteur OA.}$$

Soit r le module du vecteur OA et a, b, c ses cosinus directeurs. On a :

$$x = ra, \quad y = rb, \quad z = rc,$$

et la partie symbolique peut s'écrire :

$$r(ai + bj + ck),$$

r est égal à OA (*fig.* 4). Quant à $ai + bj + ck$, c'est un vecteur obtenu en portant une longueur Oa égale à l'unité sur la direction OA. Soit λ ce vecteur. Alors :

Fig. 4.

$$A = s + r\lambda.$$

On peut toujours écrire :

$$\begin{cases} s = \rho \cos \theta \\ r = \rho \cos \theta, \end{cases}$$

car il suffit de prendre :

$$\begin{cases} \rho^2 = s^2 + r^2 \\ \operatorname{tg} \theta = \dfrac{r}{s}, \end{cases}$$

ce qui est toujours possible. Remarquons que ρ représente le module du quaternion, puisqu'on a :

$$\rho^2 = s^2 + r^2 = (s^2 + x^2 + y^2 + z^2).$$

En effectuant cette transformation, on a :

$$A = \rho(\cos \theta + \lambda \sin \theta),$$

quantité de même forme que les quantités imaginaires, mais ici λ est un vecteur unitaire pris sur une certaine direction de l'espace. Or il se trouve que λ joue précisé-

ment le même rôle que i dans les quantités imaginaires. En effet, soit A' un autre quaternion dont le vecteur ait la même direction, mais dont le module soit différent. Alors :

$$A' = \rho'(\cos\theta' + \lambda\sin\theta').$$

Faisons le produit :

$$AA' = \rho\rho'[\cos\theta\cos\theta' + \lambda^2\sin\theta\sin\theta' + \lambda(\cos\theta\sin\theta' + \sin\theta\cos\theta')];$$

λ^2, carré d'un vecteur, est égal à moins le carré de son module, c'est-à-dire à -1. On a donc :

$$AA' = \rho\rho'[\cos(\theta+\theta') + \lambda\sin(\theta+\theta')],$$

relation qui n'est autre que celle qu'on trouve dans les quantités imaginaires.

La direction du vecteur unitaire λ étant absolument quelconque, on voit que, dans le système des quaternions, il y a une infinité de nombre qui ont pour carré -1, et qui jouissent des mêmes propriétés que le nombre i.

Il est clair que l'extension de la formule

$$AA' = \rho\rho'[\cos(\theta+\theta') + \lambda\sin(\theta+\theta')],$$

à un nombre quelconque de facteurs qu'on fera ensuite égaux conduit immédiatement à l'élévation d'un quaternion à la puissance m :

$$A^m = \rho^m(\cos m\theta + \lambda\sin m\theta),$$

et à la formule de Moivre.

(*A suivre.*)

NOTICE

SUR LA VIE ET LES TRAVAUX

DE M. GAUGAIN.

PAR M. TH. DU MONCEL

(Fin.)

II. Procédés d'aimantation et de désaimantation.

Dans les mémoires qui suivent ceux dont il vient d'être question, M. Gaugain étudie les effets magnétiques dans l'acier trempé, et, pour aimanter ses aciers, il emploie la méthode d'Elias de Harlem. Il montre d'abord que l'intensité magnétique dans un barreau donné, par un courant d'intensité déterminée, au moyen de bobines données, peut varier entre des limites très étendues, suivant qu'on manœuvre ces bobines de telle ou telle façon; ainsi, il fait voir : 1° qu'une *double passe* (aller et venir) de la bobine magnétisante, des pôles vers la ligne neutre, est plus efficace que deux passes simples, même lorsque celles-ci sont effectuées dans le même sens; 2° qu'une passe unique faite de la ligne neutre aux pôles est plus efficace qu'une passe en sens contraire; 3° que le magnétisme développé augmente avec le nombre des passes, et d'autant plus que l'intensité du courant inducteur est plus faible (voir *Comptes rendus*, t. LXXIX, p. 1300); mais que, dans tous les cas, il est nécessaire d'armer les pôles d'une armature. Dans ces conditions, et en appliquant à l'aimant vingt ou trente passes doubles, on peut obtenir une puissance magnétique quadruple de celle qui serait obtenue avec une passe unique en supposant l'aimant dépourvu d'armature. Comme dans le cours de ces expériences, M. Gaugain avait souvent besoin de désaimanter son aimant, il a dû rechercher

une méthode de désaimantation qui permît de rendre celui-ci complètement neutre, ce qui n'était pas chose aisée. Il a eu pour cela recours au procédé dont nous avons déjà parlé, qui consiste à faire passer à travers les bobines magnétisantes une série de courants alternatifs (14) ayant des intensités successivement décroissantes. Quand on emploie pour obtenir ce résultat le procédé de certains constructeurs, c'est-à-dire la friction d'un fer doux que l'on fait glisser des pôles à la ligne neutre, on n'obtient qu'une désaimantation incomplète, pour laquelle la courbe des intensités rémanentes varie selon que le glissement du fer se fait dans un sens ou dans l'autre, et qui est beaucoup plus accentuée dans un cas que dans l'autre, c'est-à-dire quand la friction est effectuée de la ligne neutre aux pôles. Ici M. Gaugain est obligé de reconnaître encore que sa méthode d'étudier la distribution du magnétisme ne conduit pas aux mêmes conclusions que celle qui consiste à l'étudier d'après les forces attractives. Ainsi, en opérant les frictions dont il vient d'être question, on reconnaît, par cette dernière méthode, que quand elles se font de la ligne neutre aux pôles, on diminue le magnétisme dans le voisinage de la ligne neutre, et on l'augmente vers les pôles, tandis que le frottement inverse produit l'effet contraire. M. Gaugain profite de cette circonstance pour prouver que sa méthode d'investigation est meilleure que celles qui sont le plus souvent employées; mais, en cela, nous ne pouvons être de son avis, car *les deux méthodes mesurent des effets différents qui peuvent avoir quelquefois des relations communes, mais qui sont le plus souvent indépendants.*

Suivant M. Gaugain, quand un aimant est très énergique, les frictions effectuées avec une barre de fer doux, de la ligne neutre aux pôles, peut affaiblir son magnétisme dans une proportion qui peut atteindre 27 pour 100, généralement, et 68 pour 100 quand la friction s'effectue en sens inverse. Quand un aimant a été ainsi soumis à ces frictions, la faible aimantation qui persiste est beaucoup plus stable qu'une aimantation égale qu'on aurait développée directement dans un aimant pris à l'état neutre, au moyen d'un courant inducteur d'intensité convenable (voir *Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 1689).

Dans le mémoire présenté à l'Académie le 7 septembre 1874, M. Gaugain revient sur les réactions échangées entre les aimants et leurs armatures. Il montre, conformément à ce que j'ai toujours dit, que l'action échangée entre le fer et l'aimant a pour effet d'imprimer, aux molécules de l'armature placées près de la surface de contact, un mouvement de rotation qui les rapproche plus ou moins de l'orientation magnétique. Celles-ci agissant de la même manière sur les molécules de la tranche voisine, le mouvement se transmet de proche en proche sous l'influence des deux pôles, dont les actions sont concordantes. L'armature, devenue un aimant, réagit à son tour sur le fer à cheval et imprime aux molécules de celui-ci un mouvement de rotation qui les amène dans des positions plus voisines de l'orientation magnétique maxima que celles qu'elles occupaient auparavant. « Il serait probablement impossible, dit-il, dans l'état actuel de la science, d'établir la loi mathématique qui régit ces actions mutuelles de l'aimant et de l'armature, mais on conçoit très bien qu'elles doivent avoir pour effet d'augmenter l'aimantation du fer à cheval dans toute son étendue. Ces considérations théoriques conduisent à cette conclusion que, dans un barreau aimanté quelconque, *l'état magnétique qui appartient à une tranche déterminée, se trouve maintenu non seulement par la force coercitive de cette tranche, mais aussi par les actions qu'exercent sur elle les tranches voisines.* » C'est ce que j'ai toujours soutenu.

A la suite de cette déduction, M. Gaugain essaie d'expliquer les effets de renforcement et d'affaiblissement du magnétisme d'un barreau aimanté déterminés par la présence d'une armature; mais ces explications n'ont rien de particulier. Il étudie ensuite, et cela est plus intéressant, les modifications permanentes qui se produisent lorsqu'un aimant en fer à cheval a été soumis en plusieurs de ses points à l'action d'une armature qu'on applique et qu'on éloigne perpendiculairement à ses branches. Il se produira dans ce cas, comme quand on agit sur les pôles, une diminution dans l'énergie magnétique de l'aimant jusqu'à une certaine limite où le magnétisme de l'aimant deviendra constant; mais si l'on change le point d'application de l'armature, et qu'on répète les mêmes mouvements, on fera de nouveau subir à l'aimant un nouvel affai-

blissement qui fera place ensuite à un état constant. On pourra donc faire ainsi varier l'aimantation du barreau entier en modifiant successivement les points d'application de l'armature. Toutefois, lorsque l'aimantation aura été convenablement affaiblie, il arrivera un moment où les effets seront différents; alors les arrachements de l'armature, effectués à partir d'une ligne déterminée, continueront à affaiblir l'aimantation dans la partie du fer à cheval comprise entre les pôles et cette ligne; mais ils l'augmenteront légèrement dans la partie comprise entre cette même ligne et la partie recourbée de l'aimant; puis, lorsque l'aimant entier aura été amené à une certaine limite inférieure, l'état magnétique, ni d'un côté ni de l'autre du point d'application de l'armature, ne pourra plus être modifié (voir *Comptes rendus*, t. LXXIX, p. 606).

Il résulte de ces expériences que le magnétisme est toujours diminué d'une manière permanente *en aval* de la ligne sur laquelle sont exécutés les arrachements, mais qu'il est tantôt augmenté, tantôt diminué *en amont* de cette ligne, et M. Gaugain appelle *amont* la partie du fer à cheval du côté de la ligne neutre. Si les arrachements de l'armature effectués en aval d'une certaine tranche sont les premiers qui aient été exécutés depuis que le fer à cheval a été aimanté, ils ont toujours pour effet de diminuer l'aimantation de la tranche, mais si l'aimantation de cette tranche a été préalablement affaiblie par une série d'arrachements exécutés en amont, on lui rend une partie de l'aimantation perdue en exécutant une nouvelle série d'arrachements en aval. M. Gaugain explique ces effets avec la théorie des orientations moléculaires; mais nous ne le suivrons pas sur ce terrain, parce que la question n'est pas assez importante pour cela. Il cite encore d'autres faits relatifs à cet ordre de phénomènes qui, au premier abord, paraissent contradictoires, mais qu'il explique en supposant que, dans une même tranche d'un barreau aimanté, il existe des molécules douées de forces coercitives différentes. Nous ne le suivrons pas davantage dans cette nouvelle voie, qui nous paraît un peu hasardée. Enfin il donne l'explication des modifications que l'on obtient dans un aimant en fer à cheval quand on le frotte avec une barre de fer doux, et cette explication est basée

sur les effets produits par les arrachements effectués en différents points des branches de l'aimant

D'après les expériences de M. Gaugain, on peut encore produire une désaimantation partielle des aimants au moyen d'une série de chocs, et l'aimantation rémanente présente le caractère particulier de stabilité qu'on remarque par suite de la désaimantation par frictions. En 1879, c'est-à-dire cinq ans après M. Gaugain, M. Trève est arrivé à la même conclusion ; mais il prétend avoir pu obtenir une désaimantation complète (voir *Comptes rendus*, t. LXXIX, p. 749).

Une certaine élévation de température peut, suivant M. Gaugain, produire les mêmes effets qu'une série de frictions ou de chocs, mais les effets produits sont notablement différents suivant le sens de l'aimantation du barreau, et M. Gaugain fait remarquer que la chaleur qu'il a employée n'était pas assez élevée pour modifier d'une manière appréciable la trempe du barreau ou, du moins, son aptitude à recevoir l'aimantation.

Dans son mémoire du 7 décembre 1874, M. Gaugain explique pourquoi il y a accroissement d'aimantation dans un aimant quand on multiplie le nombre des passes, et comment l'influence du nombre des passes s'atténue et finit par disparaître quand l'intensité du courant inducteur augmente, enfin pourquoi le magnétisme, mesuré par les courants de désaimantation, décroît, à partir de la ligne neutre, pour être minima aux extrémités polaires. Ici encore il revient à l'hypothèse qui nous a paru peu admissible et qui n'a rien à faire dans toutes ces questions, surtout pour le dernier fait qu'il signale et qui s'explique naturellement, puisque le milieu d'un barreau représente le point où toutes les spires du solénoïde magnétique exercent leur effet maximum sur la bobine d'induction.

III. Influence de la température et autres causes extérieures sur les aimants.

Les notes que M. Gaugain a présentées à l'Académie à partir de l'année 1875 se rapportent presque exclusivement aux réactions effectuées sur le magnétisme des aimants permanents.

Dans une première note du 1er février 1875, il étudie l'influence de la température sur l'aimantation ; il démontre d'abord qu'en soumettant à la chaleur, comme l'avait fait, du reste, avant lui, M. Elias, le barreau d'acier à aimanter, et cela pendant l'opération même de l'aimantation, on rend son état magnétique beaucoup plus énergique qu'en opérant à froid, à la condition, toutefois, de laisser, pendant le refroidissement, le barreau en contact avec l'aimant inducteur.

Le magnétisme total que le barreau acquiert pendant l'acte de l'aimantation augmente également dans une proportion énorme sous l'influence de la chaleur, et M. Gaugain explique cet effet comme, du reste, tous ceux qui se sont occupés de la question, en disant que la chaleur, en diminuant l'énergie de la force coercitive, permet à l'action aimantante d'orienter plus facilement et plus complètement les molécules magnétiques du barreau à aimanter et de pénétrer plus facilement la matière magnétique. Or, il doit résulter de cette action deux effets contraires : si la force aimantante l'emporte sur la force qui tend à ramener les molécules à leur position d'équilibre, la chaleur favorise l'aimantation ; mais si c'est la force moléculaire qui l'emporte sur la force aimantante, la chaleur tend à désaimanter. Il est probable, d'ailleurs, que les trois forces (force aimantante, force moléculaire et force coercitive) doivent varier avec la température, mais ce sont les variations de la force coercitive qui ont le plus d'importance. M. Gaugain, toutefois, fait remarquer que ce système de faire intervenir la chaleur dans l'aimantation d'un barreau n'a rien d'important dans la pratique, car on peut obtenir à la température ordinaire les mêmes effets en augmentant suffisamment l'énergie de l'aimant ou du courant inducteur.

Un fait intéressant qu'il signale et qui du reste s'explique aisément, c'est que la bobine d'induction qu'il emploie pour obtenir ses courants de désaimantation, *peut avoir un diamètre très différent sans pour cela que les courants qui s'y développent se trouvent modifiés, pourvu, toutefois, que le nombre des spires reste constant, et que la résistance du circuit reste invariable.* J'avais observé le même effet pour les bobines d'électro-aimants, et je l'avais opposé à ceux qui ont voulu critiquer ma déduction des conditions de maximum des électro-

aimants en prenant pour variable l'épaisseur de l'hélice magnétisante. M. Gaugain donne du reste de cet effet la même explication que j'en avais donnée, à savoir : que si chacune des actions inductrices, développées entre un élément d'hélice et un élément du barreau, diminue par suite de la grande distance à laquelle elle s'exerce, elle augmente dans le même rapport, en raison du plus grand nombre de ces actions, nombre qui augmente proportionnellement à l'accroissement du diamètre de l'hélice et, par suite, à l'éloignement de ses spires.

Dans le mémoire présenté à l'Académie le 22 mars 1875, M. Gaugain s'occupe des procédés d'aimantation connus sous le nom de la *simple* et de la *double touche*. Il cherche d'abord quelle est la distribution du magnétisme dans un barreau qui a été simplement mis en contact par l'un de ses points avec le pôle d'un aimant, et reconnaît qu'elle varie avec la position du point de contact et avec l'angle que forment entre eux le barreau et l'aimant; elle est d'ailleurs différente suivant que le barreau reste en contact avec l'aimant ou en est éloigné. Dans le premier cas, si le point de contact correspond à l'extrémité du barreau et que les deux pièces soient dans le prolongement l'une de l'autre, la force magnétique révélée par les courants de désaimantation, s'abaisse à mesure qu'on s'avance vers l'autre extrémité, tandis que quand l'aimant est enlevé, cette force augmente depuis l'extrémité jusqu'à une certaine limite, pour s'abaisser ensuite; mais cette limite varie suivant la longueur du barreau et la trempe de l'aimant, et elle est d'autant plus éloignée que le barreau est plus long et moins trempé.

Si le point de contact correspond au milieu du barreau et que l'aimant soit placé perpendiculairement, la courbe qui représente la distribution du magnétisme permanent dans le barreau d'acier, après l'éloignement de l'aimant, est tout à fait de même forme que celle qui représente la distribution du magnétisme temporaire dans un barreau d'acier ou de fer soumis à l'influence actuelle d'un aimant; elle s'élève à partir du point milieu pour fournir de chaque côté un maximum et retomber ensuite vers les extrémités du barreau.

Si le point de contact ne correspond pas au milieu du bar-

reau, le point d'aimantation nulle ne correspond plus au point de contact : il se trouve rejeté à droite de ce point; l'aimantation négative envahit graduellement la partie la plus courte du barreau, à mesure que celle-ci diminue de longueur, et quand elle se trouve réduite à 5 ou 6 centimètres, l'aimantation est négative dans toute l'étendue du barreau. Toutefois, cette sorte de distribution magnétique ne se retrouve pas dans l'aimantation temporaire. J'avais constaté déjà des effets analogues (voir mon *Étude du magnétisme*, p. 46-56) qui peuvent, du reste, s'expliquer facilement avec la théorie que j'en ai donnée.

Si maintenant on fait mouvoir l'aimant sur le barreau à partir de l'une de ses extrémités, on reconnaît que, jusqu'à un certain point k, le barreau ne présente pas de point conséquent; mais, à partir de cette limite, on voit apparaître deux pôles de même nom aux deux extrémités du barreau; puis, à mesure qu'on avance, on constate que le pôle vers lequel se dirige l'aimant augmente d'énergie à mesure que l'autre pôle s'affaiblit, et l'on arrive bientôt à un autre point k' où le point conséquent disparaît et où les deux extrémités deviennent australe et boréale. Or M. Gaugain conclut de ces effets que, pour aimanter un barreau par le procédé de la simple touche, il y a avantage à n'exécuter la friction que depuis le point k jusqu'à l'extrémité la plus éloignée du barreau, et c'est ce que l'expérience lui a démontré. La position de ce point k varie suivant beaucoup de circonstances, mais dans des barreaux de 340 millimètres de longueur sur 10 millimètres de diamètre, ce point k était situé à 120 millimètres de l'extrémité la plus rapprochée.

M. Gaugain fait remarquer qu'avec le procédé de la simple touche, l'aimantation est plus forte du côté où la friction finit que du côté où elle commence. En limitant la friction dans l'étendue dont il vient d'être question, on atténue, il est vrai, cette différence; mais elle est encore considérable, et M. Gaugain conclut que ce procédé doit être abandonné.

Quand l'aimant est incliné sur le barreau, au lieu de lui être perpendiculaire, la distribution magnétique est différente, et la courbe qui la représente n'est plus symétrique; la ligne neutre se trouve rejetée du côté où l'aimant est incliné, et cet

écart, du point de contact, est d'autant plus grand que l'inclinaison est plus grande. De plus, le maximum du magnétisme correspondant au côté de l'inclinaison de l'aimant est plus petit que celui du côté opposé, et d'autant plus petit que l'inclinaison de l'aimant est plus grande; mais il est à remarquer que ces maxima sont alors plus grands d'un côté et plus petits de l'autre que ceux qui correspondraient à une aimantation faite avec un aimant placé perpendiculairement. Tous ces effets, d'ailleurs, sont plus caractérisés avec l'aimantation permanente qu'avec l'aimantation temporaire. (Voir *Comptes rendus*, t. LXXX, p. 1003. M. Gaugain, dans son mémoire du 5 juillet 1875, cite, il est vrai, plusieurs anomalies, mais il les attribue à ce que le contact n'est pas toujours établi de la même manière et à l'action latérale à distance de l'aimant inducteur sur le barreau. Il conclut, du reste, qu'il y a réellement avantage à incliner l'aimant, comme on a coutume de le faire dans le procédé de la simple touche, et que plus l'angle d'inclinaison est petit, meilleur est le résultat. (Voir *Comptes rendus*, t. LXXXI, p. 40.)

Le procédé de *la double touche* est ensuite étudié par M. Gaugain dans son mémoire du 16 août 1875. Il étudie d'abord, comme il l'avait fait pour le procédé de la simple touche, la distribution magnétique dans le cas où deux aimants sont appliqués par leurs pôles de noms contraires au milieu du barreau à aimanter, et il reconnaît que la courbe de désaimantation qui l'indique et qui a son ordonnée maxima positive au milieu du barreau, coupe l'axe des x en deux points situés en dehors des points de contact des deux aimants, qu'elle s'abaisse au-dessous de cet axe pour atteindre, de chaque côté, un maximum négatif beaucoup plus petit que le maximum positif, puis se rapproche de l'axe des x à mesure que l'on s'avance vers les extrémités du barreau. Or il s'agissait de reconnaître d'après cette donnée la distance des points de contact des deux aimants pour déterminer l'aimantation maxima. Pour y arriver, M. Gaugain fait le raisonnement suivant : « Si l'on considère la courbe de désaimantation qui représente la distribution du magnétisme dans le cas d'un seul aimant, on voit qu'elle n'atteint son maximum de hauteur qu'à une certaine distance d du point de contact. Il

résulte de là que, lorsqu'on emploiera deux aimants, on n'obtiendra l'aimantation maxima au milieu de l'intervalle qui les sépare, que lorsqu'on donnera à cet intervalle une longueur double de d. » C'est, en effet, ce que l'expérience lui a démontré, et, dans les conditions où il s'était placé, les aimants devaient être éloignés l'un de l'autre de 40 millimètres. En opérant d'après cette donnée, on reconnaît que l'on obtient une aimantation à peu près double de celle qu'on aurait obtenue avec un seul aimant. Mais cette relation ne subsiste plus lorsqu'on déplace les points de contact, et lorsqu'ils sont transportés dans le voisinage de l'une des extrémités du barreau, l'aimantation développée au milieu de l'intervalle qui les sépare n'est pas beaucoup plus forte que celle que l'on obtiendrait en faisant agir uniquement celui des deux aimants qui se trouve le plus voisin de l'extrémité du barreau. Le second aimant ne contribue que pour une faible part à l'aimantation totale, surtout lorsqu'il est très rapproché du premier.

Les résultats qui précèdent se rapportent au magnétisme temporaire; ceux qui concernent le magnétisme permanent sont peu différents : ainsi la courbe de la distribution magnétique ne coupe pas l'axe des x, et l'aimantation est positive dans toute l'étendue du barreau, si l'on considère comme positive l'aimantation du point milieu. Il résulte de là que certaines portions du barreau qui étaient aimantées négativement sous l'influence des aimants prennent une aimantation permanente *positive* lorsque les aimants sont écartés.

Pour obtenir aussi le maximum d'aimantation permanente, il faut que la distance des deux aimants soit beaucoup plus grande que celle qui a été indiquée précédemment; et, dans les expériences de M. Gaugain, elle a dû être portée de 130 à 140 millimètres, au lieu de 40. Cette discordance, comme toutes celles du même genre, s'explique facilement par les réactions mutuelles des diverses parties du barreau, réactions qui sont paralysées lorsque les aimants inducteurs qui sont plus puissants réagissent, mais qui se manifestent aussitôt que ceux-ci sont éloignés.

Les effets de l'aimantation produite par deux aimants dépendent beaucoup de la manière dont les deux contacts sont

établis et rompus ; ceux que nous avons étudiés plus haut se rapportent à des actions simultanées ; quand elles ne le sont pas, les courbes de distribution sont différentes. Ainsi, par exemple, si les deux contacts sont établis en même temps et que les aimants soient enlevés l'un après l'autre, la courbe du magnétisme permanent s'abaisse du côté où était placé le dernier enlevé ; une seconde suffit pour déformer la courbe d'une manière appréciable. Cet effet est, du reste, facile à expliquer. D'un autre côté, le magnétisme développé en un point déterminé du barreau n'est plus égal à la somme algébrique des magnétismes développés au même point par chacun des aimants agissant séparément, car, pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que le barreau fût, avant chaque action magnétique, supposé à l'état neutre ; encore cette loi n'est vraie que jusqu'à un certain point, car lorsque la distance qui sépare les aimants dépasse certaines limites, l'aimantation temporaire qu'ils développent dans l'intervalle qui les sépare est plus forte que cette somme algébrique, et au contraire plus petite, quand la distance des aimants est très petite.

L'influence de l'inclinaison des aimants sur le barreau se fait sentir dans le cas de la double touche comme dans celui de la simple touche, mais d'une manière différente. Ainsi l'on reconnaît que pour l'aimantation temporaire au milieu du barreau, la position perpendiculaire est plus favorable que la position inclinée ; mais l'inverse a lieu pour l'aimantation permanente, et il y a avantage à employer des aimants inclinés. (Voir les *Comptes rendus*, t. LXXXI, p. 613.)

Ayant ainsi étudié la distribution du magnétisme dans un barreau mis en contact avec les pôles contraires de deux aimants, M. Gaugain étudie les effets qui doivent résulter des frictions de ces aimants. On sait qu'avec ce procédé, on fait en sorte que tous les points du barreau viennent successivement toucher les deux pôles. Le raisonnement avait indiqué à M. Gaugain qu'à la suite de ces frictions, l'aimantation correspondant à une partie déterminée du barreau devait être plus forte dans le cas où la friction se termine sur cette partie que dans le cas où elle se termine sur d'autres points ; mais l'expérience n'a pas justifié complètement cette manière de voir : ainsi il a trouvé qu'après une série de passes dirigées

lécules telle que les forces inductrices l'ont établie, et qui possède pas d'effet de *rétrogradation*. A l'aide de cette pr priété de la force coercitive et de cette hypothèse qu quand les couches superficielles d'un barreau d'acier so assez chauffées pour ne plus s'aimanter convenablement ell permettent aux couches plus profondes (qui ne s'aimanter pas du tout à la température ordinaire) de recevoir une cer taine aimantation, il explique les différents effets que nou venons de signaler (voir *Comptes rendus*, t, LXXXII, p. 685)

La nature des aciers influe aussi sur les effets qui ont été exposés précédemment et qui se rapportent à l'acier de Sheffield. Ainsi, avec de l'acier d'Allevard, la rétrogradation constatée plus haut n'existe pas.

D'un autre côté, on a constaté depuis longtemps que, si l'on multiplie les chauffages et les refroidissements de l'acier, les effets se modifient également, mais deviennent stables après des chauffages et des refroidissements suffisamment répétés. Il en résulte qu'un barreau subit par le chauffage deux sortes de modifications : l'une *permanente*, qui a pour résultat d'augmenter l'aimantation correspondante à une température donnée quelconque, l'autre *passagère*, qui a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'aimantation, suivant que la température s'abaisse ou s'élève. Or, d'après les expériences de M. Gaugain, la modification permanente est à peu près la même pour l'acier d'Allevard et l'acier de Sheffield; mais la modification passagère est beaucoup plus grande pour ce dernier que pour l'autre (voir *Comptes rendus*, t. LXXXII, . 1422).

La *variation passagère* et la *variation permanente* sont ensuite l'objet de l'étude de M. Gaugain, dans sa note à l'Académie du 2 octobre 1876. Il montre qu'entre des températures peu élevées de 1° à 100°, telles que celles qu'a expérimentées M. Wiedmann, elle est si petite qu'on peut difficilement la mesurer, mais que vers 300°, elle devient importante et présente des caractères intéressants. D'abord, le rapport ou coefficient qui représente cette variation est différent aux divers points du barreau; il va en augmentant à mesure qu'on l'éloigne du contact établi entre l'aimant et le barreau, et il augmente également avec la longueur du barreau.

Il en est de même du rapport représentant la [illegible] *[illegible]sente*, mais il augmente beaucoup plus rapidement [illegible] En second lieu, on a reconnu que si le rapport [illegible] de la variation passagère est indépendant de [illegible] force aimantante, celui de la variation permanente va en augmentant lorsque cette force diminue (voir [illegible] t. LXXXIII, p. 661). En troisième lieu on a pu s'assurer [illegible] si le coefficient de la variation passagère varie [illegible] la provenance des aciers, il varie également d'un barreau à [illegible] autre, quoique ayant une même provenance.

Suivant M. Gaugain, le fer comme l'acier est [illegible] d'une variation passagère et permanente, mais les [illegible] sont plus petits dans le cas du fer.

Il s'agissait de savoir si la chaleur, en augmentant [illegible] voir magnétique d'un barreau lorsqu'il est [illegible] l'échauffement à l'action aimantante, produit le même effet lorsque, étant préalablement chauffé, on vient à [illegible] à l'action magnétique. D'après les idées reçues sur [illegible] sement de la force coercitive avec la chaleur, [illegible] devrait être beaucoup plus faible, et c'est, en effet, [illegible] M. Gaugain a reconnu quand le barreau était [illegible] d'éprouver une variation passagère considérable [illegible] contraire avait lieu avec des barreaux ne présentant [illegible] très petite variation passagère, et M. Gaugain [illegible] ces effets différents tiennent précisément [illegible] d'aimantation que l'on obtient alors, [illegible] résultent des variations passagères : que si [illegible] fres qui les représentent en faisant intervenir [illegible] tions passagères, on trouve toujours que l'aimantation [illegible] avec la température. M. Gaugain fait remarquer que dans toutes les recherches précédentes il ne s'est occupé que de l'aimantation *totale*, c'est-à-dire de celle que le barreau reçoit sous l'influence de la force aimantante : elle représente donc la somme des aimantations désignées ordinairement sous le nom d'aimantation *temporaire* et *permanente* (voir *Comptes rendus*, t. LXXXIII, p. 896). Je ferai toutefois à la déduction précédente une observation : c'est qu'elle ne peut se rapporter aux effets attractifs des aimants à de hautes températures.

car voici une expérience que j'ai faite en 1852, qui indique, à ce point de vue, des effets diamétralement opposés.

J'avais constitué avec un fil de cuivre de 2 millimètres de diamètre une hélice à spires écartées dont les bouts, repliés à angle droit, étaient piqués sur une planche de manière à maintenir son axe dans la verticale. Au-dessus de cette hélice j'avais fixé un support métallique percé d'un trou à travers lequel je pouvais faire glisser un petit cylindre de fer, terminé par une broche qui le maintenait exactement au milieu de l'hélice de cuivre. Les deux bouts de l'hélice étaient mis en communication avec les pôles d'un élément Bunsen, et après avoir fait rougir mon cylindre de fer, je le plongeais dans l'hélice, puis je présentais à son bout inférieur une armature de fer. Tant que le cylindre était rouge, je n'obtenais qu'un attraction très faible; mais, à mesure qu'il refroidissait, les effets d'attraction se développaient successivement jusqu'à l'entier refroidissement, où ils acquerraient leur maximum. Cette expérience montre bien que les polarités magnétiques diminuent considérablement d'énergie avec la chaleur, mais comme ces effets de polarité ne représentent pas l'état magnétique du barreau, il pourrait bien se faire, et je serais porté à le croire, que cet état magnétique fût plus énergique sous l'influence de la chaleur qu'à la température normale, de même que le magnétisme est plus développé sur la ligne neutre d'un aimant qu'à ses extrémités polaires, bien que les actions attractives y soient nulles.

Relativement à une expérience de M. Favé (fils) sur l'accroissement de magnétisme que prend un barreau aimanté à chaud, après avoir été d'abord refroidi puis réchauffé, expérience qui est en contradiction avec celles de M. Wiedmann, M. Gaugain pense que le désaccord tient à ce que le premier a chauffé son barreau à une température dépassant 350°, tandis que le second n'a employé que des échauffements d'environ 100 degrés. Quant à lui, il a obtenu des effets analogues à ceux annoncés par M. Favé, mais moins marqués, et il a constaté, de plus, qu'il se produisait quelquefois, avec certains aciers, au moment des refroidissements, des aimantations inverses qui disparaissaient à la suite du réchauffement. Ces inversions ne se sont produites qu'avec les aciers de Sheffield; mais il ne

paraît pas que l'intensité du courant inducteur exerce une grande influence sur elles, et il cherche à expliquer les différents effets, en supposant une réaction des couches aimantées le plus profondément sur les couches superficielles (voir les *Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 219).

Dans une seconde note sur ce sujet, M. Gaugain, après avoir rappelé l'expérience de M. Favé, indique que le barreau d'acier, après avoir subi l'accroissement d'aimantation dont il a été question, a son magnétisme de plus en plus affaibli à mesure que l'on chauffe, et que ce magnétisme finit par disparaître complètement pour ne plus reparaître. Sur ce point, M. Gaugain n'est pas tout à fait d'accord avec M. Favé, car celui-ci n'a jamais constaté la disparition complète du magnétisme; seulement il a reconnu qu'après un certain nombre d'échauffements et de refroidissements, il s'établissait une sorte d'équilibre tel qu'on retrouvait à peu près la même aimantation aux mêmes températures. L'aimantation la plus forte correspondait aux températures les plus élevées. « En définitive, dit M. Gaugain, *la variation passagère* d'un barreau est *positive* quand le barreau a été aimanté à une température de 350°, et elle est *négative* quand l'aimantation a été exécutée à une température ne dépassant pas 100°. De ces deux faits, il est naturel de conclure que la variation passagère doit devenir nulle lorsque le barreau est aimanté à une certaine température déterminée θ, plus haute que 100° et plus basse que 350°. » Avec des barreaux composés d'un tube d'acier rempli par un noyau du même métal, cette température déterminée θ est environ 200°, du moins avec des aciers de Petin et Gaudet (voir *Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 536).

IV. Magnétisme des tubes d'acier.

Dans ses dernières recherches sur le magnétisme, M. Gaugain a eu pour but d'étudier le magnétisme des tubes d'acier. Dans son mémoire du 1er octobre 1877, il montre que, si à la température ordinaire on introduit dans un tube d'acier aimanté un cylindre du même métal à l'état neutre, et qu'on retire celui-ci au bout de quelques instants, on le trouve faiblement aimanté dans le même sens que le tube; mais si, après l'avoir replacé dans le tube, on chauffe le système à

300° et qu'on le laisse refroidir, on trouve que le tube a perdu une grande partie de son aimantation primitive, et que le noyau a pris une aimantation inverse (voir *Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 615).

M. Gaugain infère de cette expérience que, même à la température ordinaire, cet effet doit se produire tout le temps que le noyau est renfermé dans le tube, mais que, du fait même du frottement résultant de sa sortie du tube, le noyau doit subir une friction qui a pour résultat de renverser le sens de son *aimantation*. Quand le système est chauffé, le magnétisme inverse du noyau acquiert une assez grande énergie, et, au contraire, le magnétisme du tube s'est trouvé affaibli au moment de la séparation des deux pièces. Ces effets, du reste, se reproduisent quand, au lieu du tube, c'est le noyau qui est aimanté préventivement; mais il n'est pas besoin pour cela que l'une des deux pièces magnétiques soit à l'état neutre : quand elles présentent une différence sensible d'aimantation, l'effet se produit, et le magnétisme de la pièce la moins aimantée est interverti.

Si les deux pièces magnétiques dont il vient d'être question subissent simultanément l'aimantation, elles présentent le même sens d'aimantation quand elles viennent à être disjointes, et l'on obtient cet effet à la température ordinaire comme à une température élevée, du moins quand, dans ce dernier cas, on sépare les pièces avant le refroidissement; mais, dans le cas contraire, leur aimantation peut devenir inverse, et le sens de l'aimantation, dans ce cas, varie avec l'épaisseur du tube, la force coercitive de l'acier et l'intensité du courant inducteur. Ainsi, avec des courants faibles, le magnétisme du noyau, d'abord inverse, devient de même sens pour un courant plus intense, et redevient *inverse* avec un courant plus fort encore.

Quand le système magnétique dont il vient d'être question est aimanté à chaud, et qu'on le laisse refroidir sans séparer les deux pièces qui le composent, son magnétisme reste de même signe, mais diminue considérablement, et quelquefois s'affaiblit au point de devenir nul et même de fournir une aimantation inverse. Dans le premier cas, le réchauffement augmente l'aimantation; dans le second, il la renverse à une certaine

température et la rend directe. Il est probable que les choses se passent ainsi dans un barreau plein, dans lequel des couches magnétiques différentes se trouvent superposées, et l'on peut attribuer aux réactions de ces couches les unes sur les autres les variations magnétiques que l'on constate.

Si, après avoir aimanté à chaud le système, on laisse les deux pièces refroidir ensemble ou séparément, l'aimantation du noyau est fort différente dans les deux cas. Dans le premier, ce noyau conserve une aimantation directe assez marquée; dans le second cas, cette aimantation est nulle; mais alors la chaleur peut faire réapparaître l'aimantation, tandis que, dans le premier, elle ne fait que diminuer l'aimantation observée. L'explication que M. Gaugain donne de ces effets revient un peu à nos idées, et le conduit à admettre que ces sortes de réactions doivent varier suivant l'épaisseur des tubes et l'intensité du courant employé, que les noyaux doivent toujours fournir une recrudescence, mais que les tubes ne peuvent en fournir une que quand ils ont au moins un millimètre d'épaisseur, et qu'ils ont été refroidis après leur séparation de leur noyau.

En résumé, il conclut que les variations du magnétisme dans un barreau d'acier plein, sous l'influence de la chaleur, dépendent du magnétisme inverse développé par la réaction mutuelle des couches magnétiques concentriques. soit du barreau, soit du système (voir *Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 1014).

Quand on opère sur un système formé d'un tube et d'un noyau, on peut suivre les modifications que la chaleur fait éprouver au magnétisme *direct* du noyau et au magnétisme inverse du tube, et voici les faits principaux que M. Gaugain a constatés :

1° Quand le système a été aimanté à une température peu différente de la température ordinaire, qu'ensuite on le réchauffe, et qu'on le refroidit un certain nombre de fois entre 300° et 15°, on peut reconnaître que chaque réchauffement a pour effet de diminuer le magnétisme *direct* du noyau et d'augmenter le magnétisme *inverse* du tube, et ces deux modifications tendent l'une et l'autre à diminuer l'aimantation du système; par conséquent l'aimantation passagère doit être négative, comme elle l'est en effet;

2° Lorsque le système a été aimanté à une température voisine de 300°, on peut constater que chacun des réchauffements qu'on lui fait ultérieurement *subir*, a pour résultat d'augmenter le magnétisme direct du noyau et de diminuer le magnétisme inverse du tube, et ces deux modifications tendent l'une et l'autre à augmenter l'aimantation du système, et, par conséquent, la variation passagère doit être positive;

3° Lorsque le système a été aimanté à une température voisine de la limite θ, on peut reconnaître que chacun des réchauffements auxquels il est ultérieurement soumis a pour effet de diminuer à la fois l'aimantation directe du noyau et l'aimantation inverse du tube. Ces deux diminutions influent en sens contraire sur l'aimantation du système, et quand elles sont rigoureusement égales, l'aimantation du système reste invariable.

Ces différentes déductions expliquent les effets que M. Gaugain a signalés au sujet des expériences de MM. Favé et Wiedmann (voir *Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 538).

Le dernier mémoire de M. Gaugain se rapporte à l'hypothèse de la superpostion de couches magnétiques contraires, que M. Jamin avait admise et dont il s'était servi lui-même jusque-là pour expliquer plusieurs effets constatés par lui; mais dans cette dernière note, il semble renoncer à cette hypothèse, et la remplace par celle qu'il avait déjà émise : que, dans un même barreau, il peut y avoir des molécules douées de force coercitive inégale, et, par conséquent, plus ou moins aptes à prendre leur orientation magnétique sous l'influence d'un courant donné : d'où il résulterait que les unes, pour s'aimanter, exigeraient un courant plus énergique que les autres.

Pour démontrer cette hypothèse, il a fait exécuter, par voie de forage, trois tubes avec trois aciers différents. Chaque tube a été pourvu d'un noyau de même acier que lui. En associant chacun des noyaux à chacun des tubes, il a pu former neuf combinaisons différentes qu'il a étudiées les unes après les autres, et il est arrivé à conclure que, lorsqu'on soumet à l'action d'un courant faible un système composé de deux parties douées de forces coercitives différentes, la partie qui possède la plus petite force coercitive est toujours celle qui prend la plus forte aimantation, quelle que soit d'ailleurs sa position

(tube ou noyau); ce résultat est tout à fait analogue à celui que l'on obtient en comparant les noyaux pleins recuits ou trempés (voir *Comptes rendus*, t. LXXXVII).

La rapide analyse des travaux de M. Gaugain ne donne qu'un aperçu de leur importance; mais elle suffira, nous l'espérons, pour faire apprécier l'éminent confrère (*) que nous avons perdu, l'homme désintéressé dont la grande passion fut l'amour de la science, et qui enrichit d'un de ses mémoires notre volume de 1876.

(*) Académie nationale de Caen.

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL

D'ÉLECTRICITÉ ET DE MAGNÉTISME

DE M. J.-E. GORDON

Traduit par M. Raynaud, professeur à l'École supérieure de télégraphie, avec le concours de M. Séligmann-Lui, ingénieur des télégraphes.

M. Raynaud vient de faire paraître, avec le concours de M. Seligmann-Lui, le premier volume d'une traduction du traité expérimental d'électricité et de magnétisme de M. Gordon, secrétaire adjoint de « the British association », ancien préparateur et collaborateur du regretté Clerk Maxwell. Il a complété le livre de M. Gordon par des notes nombreuses et des appendices consacrés à la théorie mathématique des phénomènes électriques et à l'exposition de quelques travaux français et étrangers qui avaient été omis par l'auteur.

Des planches nombreuses extraites de l'ouvrage original reproduisent les principaux appareils employés aux recherches électriques en Angleterre, où l'étude de l'électricité a fait de plus grands progrès qu'en France, en raison du développement de la télégraphie sous-marine, auquel nos voisins ont pris la plus grande part.

Ce premier volume est divisé en trois parties : l'électrostatique, le magnétisme et l'électro-cinétique (électricité voltaïque et électro-magnétisme), dans chacune desquelles M. Gordon a suivi l'ordre chronologique des travaux et découvertes.

Nous aurons occasion de revenir sur cet ouvrage : nous nous bornerons pour le moment à signaler un fait important pour l'histoire de l'électricité, que nous trouvons dans le volume qui vient de paraître et qui n'était pas connu de la plupart de ceux qu'intéresse cette branche des sciences physiques. C'est en 1837 que Faraday publia sa découverte sur la variation de la capacité inductive spécifique des différentes substances isolantes, et ses expériences, reprises par un certain nombre de savants, Gaugain, Gibson, Boltzmann, etc., ont servi de base à l'étude de la transmission à travers les câbles sous-marins. Or, longtemps avant Faraday, de 1771 à 1781, Cavendish avait mesuré la capacité inductive des divers condensateurs, en les comparant à un condensateur étalon, nommé *plateau d'épreuve*, et en avait déduit le rapport des capacités du verre et des autres substances à celle de l'air, rapport qui constitue ce que nous appelons *la capacité inductive spécifique*. Les expériences de Cavendish, qui sont résumées dans le traité de M. Gordon, ont été publiées seulement en 1879 par M. Clerk Maxwell.

La traduction de M. Raynaud est précédée d'une introduction de M. Cornu, membre de l'Institut (Académie des sciences), que nous reproduisons textuellement.

B.

Les phénomènes rapportés à l'électricité peuvent être envisagés à tant de points de vue qu'on ne saurait s'étonner de la diversité des formes sous lesquelles l'exposition de cette branche si importante de la physique peut être présentée. Les progrès accomplis en Angleterre dans ces dernières années à l'occasion des grands travaux de télégraphie sous-marine ont modifié profondément l'état de la science telle qu'elle est exposée dans les anciens traités, d'ailleurs fort estimés, publiés en France, et ont naturellement appelé l'attention

l'École supérieure de télégraphie, si versé dans toutes les questions théoriques et pratiques relatives à l'électricité. M. Raynaud a bien voulu se charger de compléter le livre et de l'ajuster aux exigences de l'enseignement de notre pays, dont les tendances diffèrent sous beaucoup de rapports de celles qui règnent dans l'ouvrage anglais : le texte de l'ouvrage ayant été scrupuleusement respecté, c'est par des appendices que les compléments ont été ajoutés. La plupart des chapitres présentent des additions nombreuses, comprenant d'abord le résumé, au point de vue français, des mémoires, ou la description des appareils qui, dans l'édition primitive, s'adressaient surtout au lecteur anglais ; ensuite, les extraits des travaux français ou étrangers, destinés à préciser les sujets traités ; enfin l'exposé succinct des principales formules relatives à l'application des lois physiques à la mesure des phénomènes. A ce point de vue on doit citer les appendices qui résument les définitions et les formules relatives à l'électro-statique dans ses rapports avec la thermo-dynamique, au magnétisme aux lois de Ohm et à l'électro-dynamique et les regarder comme les additions les plus importantes à l'ouvrage anglais : additions d'autant plus utiles que ces développements ne figurent jusqu'à présent dans aucun traité publié en France.

Enfin plusieurs chapitres ont été fort étendus pour y introduire les travaux les plus récents sur les décharges électriques dans le vide, sur la production de la lumière par les machines d'induction, sur la téléphonie, la photophonie ; questions qui ont le privilège d'attirer aujourd'hui avec tant de force l'attention des gens du monde et des savants.

En résumé, l'édition française du *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme* de M. Gordon paraît destinée à exercer sur l'enseignement de l'électricité en France une influence salutaire ; non seulement dans l'enseignement élémentaire, par la forme attrayante sous laquelle les phénomènes sont présentés ; mais jusque dans l'enseignement supérieur, par les notes dont le traducteur l'a enrichie. A ce point de vue, en effet (et ce n'est peut-être pas le moindre éloge que l'on puisse faire de ce livre), il peut être considéré, suivant le vœu de l'auteur, comme une introduction à l'admirable traité de Clerk

Maxwell, *Electricity and magnetism*, qui devrait être depuis longtemps traduit dans notre langue.

Enfin elle est digne de l'attention des savants par l'abondance des documents et le soin avec lequel les découvertes les plus récentes ont été exposées.

A. Cornu,
Membre de l'Institut (Académie des sciences).

CHRONIQUE.

Exposition universelle d'électricité de 1881.

Le comité technique de la prochaine exposition d'électricité est composé de la manière suivante, sur la proposition du ministre des postes et des télégraphes :

MM.

Le Ministre des postes et des télégraphes, *président.*
Teisserenc de Bort, sénateur, *président-adjoint.*
Carnot (père), sénateur.
Cuvinot, sénateur.
Dupuy de Lôme, sénateur.
Bert (Paul), député.
Reymond (Francisque), député.
Becquerel (Edmond), membre de l'Institut.
J.-B. Dumas, membre de l'Institut.
Garnier (Ch.), membre de l'Institut.
Hervé-Mangon, directeur du Conservatoire national des arts et métiers.
Alphand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux de la ville de Paris.
Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur général du service central des phares.
Baron, inspecteur général des postes et des télégraphes.
Bergon, administrateur des télégraphes.
Blavier, directeur-ingénieur des lignes télégraphiques.
Guichard (Jules), administrateur de la commission universelle du canal de Suez.
Le général baron Saint-Cyr-Nugues, commandant le département de Seine-et-Oise et la place de Versailles, inspecteur général de la télégraphie militaire.

MM.

Armengaud (jeune), ingénieur conseil.

Clérac, ingénieur des télégraphes.

Fontaine, président de la chambre syndicale de l'électricité.

Lan, ingénieur des mines, administrateur des chemins de fer de l'État.

Lemonnier, de la maison Sautter-Lemonnier.

De Parville, publiciste.

Rattier, de la maison Rattier et compagnie.

Schlemmer, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de l'exploitation générale des chemins de fer au ministère des travaux publics.

Tesse, ingénieur de la Compagnie du chemin de fer du Nord.

Turgan, publiciste.

Le comte du Moncel, membre de l'Institut.

Breguet (Antoine), chef des installations du commissariat général de l'exposition internationale d'électricité, secrétaire.

Le comité technique a adopté le classement suivant pour les objets qui seront exposés.

GROUPE I. — *Production de l'électricité.*

Classe I. Électricité statique.
Classe II. Piles et accessoires.
Classe III. Machines magnéto-électrique, et dynamo-électriques.

GROUPE II. — *Transmission de l'électricité.*

Classe IV. Câbles, fils et accessoires. — Paratonnerres.

GROUPE III. — *Électrométrie.*

Classe V. Appareils servant aux mesures électriques.

GROUPE IV. — *Application de l'électricité.*

Classe VI. Télégraphie. — Signaux.
Classe VII. Téléphonie. — Microphonie. — Photophonie.

Classe VIII. Lumière électrique.
Classe IX. Moteurs électriques. — Transport des forces.
Classe X. Électricité médicale.
Classe XI. Électro-chimie.
Classe XII. Instruments de précision. — Électro-aimants et aimants. — Boussole. — Horlogerie électrique.
Classe XIII. Appareils divers.

GROUPE V. — *Mécanique générale.*

Classe XIV. Générateurs. — Moteurs à vapeur, à gaz et hydrauliques, et transmissions applicables aux industries électriques.

GROUPE VI. — *Bibliographie.* — *Histoire.*

Classe XV. Collections bibliographiques d'ouvrages concernant la science et l'industrie électriques, plans, cartes, etc., etc.
Classe XVI. Collections rétrospectives d'appareils concernant les études primitives et les applications les plus anciennes de l'électricité.

Liste des membres désignés par les nations étrangères pour faire partie du congrès et de l'exposition internationale d'électricité.

ALLEMAGNE. — *Exposition.* — M. Elsässer, conseiller intime supérieur du département des postes d'Allemagne.

AUTRICHE-HONGRIE. — *Congrès.* — Dr Hermann Militzer, conseiller de section au ministère I et R du commerce. — Le baron Lorand Eötros, professeur de l'université à Buda-Pesth, membre correspondant de l'Institut de Hongrie.

BELGIQUE. — *Congrès.* — M. Banneux, ingénieur des télégraphes. — M. Gérard, sous-ingénieur des télégraphes.

Exposition. — M. le comte Adrien d'Oultremont. — M. Bordiau, architecte.

BRÉSIL. — *Congrès.* — M. Jamin, membre de l'Institut de France.

ITALIE. — *Congrès.* — M. Rossetti, professeur à l'université de Padoue.

PAYS-BAS. — *Congrès.* — M. Van Kerkwik, membre de la seconde chambre des États généraux. — M. Boscha, docteur de l'École polytechnique. — M. J. M. Colette, inspecteur des télégraphes.

Exposition. — M. Gérard Oyens.

PORTUGAL. — *Congrès.* — Le docteur Antonio dos Santas Viégas, professeur à l'université de Coïmbre.

RUSSIE. — *Congrès.* — M. Lenz, conseiller d'État actuel, professeur à l'institut technologique de Saint-Pétersbourg.

SUÈDE ET NORVÈGE. — *Congrès.* — M. C. A. Nystroem, ingénieur en chef des télégraphes. — M. O. J. Broch, professeur et ancien ministre.

Exposition. — M. C. A. Nystroem. — M. Harald Asche, chef de bureau au ministère de la marine et des postes de Norvège.

SUISSE. — *Congrès.* — M. Timothée Rothen, adjoint à la direction fédérale des télégraphes.

Signaux réglementaires des navires télégraphiques.

Par M. B. L. TERNANT.

La question des feux qui doivent distinguer les navires télégraphiques pendant leurs travaux de nuit a déjà été traitée. Les règles qui doivent suivre les bâtiments qui ont ces feux en vue a une telle importance que nous n'hésitons pas à y revenir. A l'heure actuelle, la télégraphie sous-marine comprend au moins trente bâtiments à vapeur tenant presque constamment la mer pour des opérations télégraphiques. Ces opérations exigent une navigation complètement distincte de la navigation ordinaire, et pourtant la question des feux de ces navires spéciaux reste encore indécise, puisque aucune réglementation n'existe à présent sur ce sujet dans notre pays

Les dangers auxquels sont exposés les vapeurs du télégraphe pendant la pose ou la réparation des câbles sont considérables dans toutes les mers, surtout dans celles où la navigation abonde. C'est surtout lors des réparations que le danger

est plus grand. Pendant la pose d'un câble, le navire peut en général et sans grand dommage suivre les règles ordinaires de la route à la mer, mais lors du relèvement d'un câble, ou bien quand il est ramené à bord par l'avant au moyen d'un grappin pour le réparer, ou encore au moment de l'épissure finale après une réparation, le vapeur ainsi employé se trouve absolument dans les conditions d'un navire à l'ancre et ne peut changer de place en aucune façon.

En 1860 ou 1861, Sir Samuel Canuing, ingénieur en chef de la *Telegraph Construction and Maintenance Company*, appela l'attention de l'amirauté anglaise sur ce point délicat, et peu de temps après (août 1862) l'amirauté publia des instructions d'après lesquelles tous les vapeurs employés au service des câbles devaient, en faisant route et depuis le coucher jusqu'au lever du soleil, exhiber, outre les feux réglementaires, deux feux rouges brillants pendant verticalement au-dessous du feu blanc hissé au haut du mât de misaine. Dans le jour ces feux spéciaux devaient être remplacés par deux globes noirs opaques pendant verticalement au haut du même mât et séparés l'un de l'autre par une distance de quatre pieds. Ces globes devaient avoir un diamètre de deux pieds. Ces instructions ne reçurent pas une publicité suffisante, et il en résulta que, souvent, des navires s'arrêtèrent pour s'enquérir du motif qui retenait, apparemment stationnaires, les vapeurs ainsi désignés par leurs feux. Les instructions de l'amirauté omettaient également de préciser si la navigation générale ordinaire devait ou ne devait pas se tenir au large des vapeurs du Télégraphe dans leurs opérations.

Mais le point le plus important et le moins défini était celui qui se rapporte aux feux réglementaires de bord. Il est évident que toutes les fois qu'un vapeur télégraphique portera les feux réglementaires, les navires qu'il rencontrera attendront de lui qu'il suive les règles de la route à la mer.

Nous avons déjà dit que, pendant la pose d'un câble, le vapeur télégraphique peut, jusqu'à un certain point, suivre ces règles. Il n'en est pas de même quand il relève un câble submergé; il est alors sous vapeur et peut paraître, dans ces circonstances, atteindre une vitesse de cinq ou six nœuds à l'heure. Il suffit en effet qu'il relève le câble à raison de deux

ou trois nœuds et qu'il traverse un courant de marée de deux nœuds à l'heure, pour avoir une vitesse apparente de cinq ou six nœuds. Dans ces circonstances, il ne peut aucunement quitter sa route.

Il est toujours resté incertain si un vapeur ainsi placé doit ou ne doit pas allumer de feux réglementaires, car la situation se résume à ceci : si ces feux étaient exhibés, les navires qui viennent à l'encontre s'attendraient à lui voir suivre les règles de la route que ces feux impliquent, et comme il serait absolument impossible de le faire, une collision pourrait être le résultat de cette exhibition. D'un autre côté, si le navire télégraphique ne porte pas ces feux réglementaires et qu'une collision se produise, les cours d'amirauté peuvent le déclarer en faute pour ne pas les avoir exhibés et le rendre responsable de dommages, sous prétexte « qu'il faisait route » au moment de l'accident.

Le *Board of Trade* a publié, il y a quelques années, de nouvelles instructions qui assimilent les navires télégraphiques aux bâtiments en détresse. Voici l'article spécial de ces instructions qui se rapporte au cas qui nous occupe :

« Article 5. — Les navires à vapeur ou à voiles employés, soit au relèvement des câbles sous-marins, ou bien ceux qui, par suite d'accident, ne pourront plus être suffisamment gouvernés, devront exhiber, pendant la nuit, et à l'endroit où se montre le feu blanc réglementaire des bateaux à vapeur, pour les navires à voiles, et à la place de ces feux, pour les vapeur, trois feux rouges renfermés dans des lanternes globulaires n'ayant pas moins de dix pouces de diamètre chacune et placées en ligne verticale, l'une au-dessous de l'autre, à la distance de trois pieds. Pendant le jour, ces feux seront remplacés, au même endroit, par trois globes noirs ayant chacun deux pieds de diamètre. Ces feux ou globes devront être considérés, par les navires s'approchant, comme un signal que le bateau qui les porte ne peut être gouverné et ne peut, par conséquent, quitter sa route. Les navires ci-dessus désignés ne porteront pas les feux réglementaires à babord et à tribord s'ils ne font pas route à travers l'eau, différemment ils devront les exhiber. »

Dans le premier paragraphe de ces instructions, les va-

peurs télégraphiques sont assimilés aux bâtiments en détresse qui ont besoin de secours, ce qui n'est pas exact pour les navires du télégraphe, qui ne demandent rien autre que de voir les autres bâtiments se tenir au large. Les instructions disent bien que l'on devra s'éloigner des navires portant les signaux désignés plus haut, mais elles font une confusion fâcheuse entre un navire en détresse qui va à la dérive et un vapeur qui, de toutes façons, est virtuellement à l'ancre, soit par l'avant, soit par l'arrière.

La question des feux réglementaires de bord n'est pas non plus réglée d'une façon sasisfaisante. Si les trois feux rouges du mât de misaine dénotent un navire ingouvernable et qui ne peut s'écarter de sa route, à quoi servent les feux réglementaires de la navigation usuelle? Ils signifieront bien, d'après les instructions du *Board of Trade*, que le navire qui les porte se meut sur l'eau. Mais les circonstances sont absolument différentes suivant les cas. Lors de la pose, le navire dérive et ne peut se mouvoir que sous l'influence de sa machine ou de ses voiles et, jusqu'à un certain point, il est gouvernable; et pourtant il doit toujours porter un signal qui dénote qu'il ne l'est pas, en même temps qu'il exhibe le signal contradictoire de ses feux de bord qui, sur tous les navires, indiquent la possibilité de gouverner.

Quand le navire relève un câble, quoiqu'il puisse avancer sous l'effort de sa machine et qu'il fasse par conséquent du chemin sur l'eau, il est dans l'impossibilité absolue de s'écarter de sa route, et pourtant il doit, dans ce cas, porter les mêmes feux que le navire de pose qui peut s'écarter de sa route.

Il peut même arriver que le navire de relèvement trouve le câble enfoui sous le sable à tel point qu'il ne puisse avancer en aucune façon sur l'eau, et pourtant s'il y a un courant de marée ou autre, il se meut à travers l'eau et doit, par conséquent, porter les feux réglementaires de bord. Il se trouve toutefois et exactement dans la position d'un navire qui relève son ancre, auquel cas il est interdit d'exhiber ces feux.

Quand le vapeur du télégraphe recherche le câble en draguant avec son grappin sur le fond, il va simplement à la dérive et ne fait point route. Il lui serait encore difficile alors de s'écarter des navires venant à sa rencontre.

Il résulte de ce qui précède que les navires télégraphiques n'ont pas à leur disposition l'usage des signaux suffisants pour faire comprendre leur position à la navigation générale. Au lieu de les assimiler aux bâtiments en détresse, il conviendrait de leur donner des feux distincts placés au mât de misaine et de les classer comme suit :

1. Navires posant un câble qui, étant partiellement gouvernables, pourraient porter les feux de bord, quand ils font route.

2. Navires relevant un câble. Pas de feux de bord, mais un signal indiquant le hâlage d'un câble et l'impossibilité de se déranger.

3. Navires draguant le câble sur le fond au moyen du grappin et ne pouvant changer de route.

Les bâtiments s'approchant des navires télépraphiques les reconnaîtraient tout d'abord et s'en écarteraient le plus possible.

Ils sauraient aussi s'ils posent un câble et qu'alors ils peuvent suivre jusqu'à un certain point les règles de la route à la mer, ou bien s'ils sont amarrés au fond et que dès lors ils se trouvent identiquement dans la position d'un navire à l'ancre, ou bien encore s'ils dérivent en dérapant sur un grappin et que dans ce cas ils ne peuvent pas s'écarter de leur route.

La législation, restée incertaine jusqu'à ce jour, a besoin d'être fixée au plus tôt. Les nombreuses opérations télégraphiques qui se font chaque jour à la mer créent un danger permanent aussi bien pour la navigation générale que pour le travail spécial de la télégraphie sous-marine, et, bien que souvent les opérations de relèvement se fassent de jour, il est arrivé fréquemment qu'elles n'ont pu être interrompues avec la tombée de la nuit, et alors le danger devient plus grand.

Plusieurs accidents se sont produits par suite du défaut de réglementation, et l'on trouvera sans doute la solution la plus satisfaisante dans l'emploi de la lumière électrique, facile à produire à bord de navires à vapeur de l'espèce qui nous occupe. Il appartient à nos législateurs de prendre cette intéressante question en main et de la régler définitivement d'accord avec les autres puissances maritimes.

La vision par l'électricité.

(Réunion de la *Physical Society*, du 26 février.)

Invité par le président à refaire ses expériences devant la Société, le professeur Ayrton estime avec M. Perry l'occasion propice pour démontrer qu'ils ont réellement construit un appareil de vision par l'électricité. La possibilité de réalisation de leur plan avait été contestée, et au dernier congrès de l'Association britannique on avait affirmé que l'action du sélénium n'était pas assez instantanée pour enregistrer de rapides variations d'intensité lumineuse, bien qu'ils eussent établi que l'expérience était là pour démontrer le contraire. Puis vint l'exhibition du photophone, démontrant que les propriétés électriques du sélénium changeaient synchroniquement avec les variations rapides de l'intensité lumineuse. Un télégraphe lumineux, il est vrai, n'exige pas seulement cette condition, il faut de plus que les modifications électriques du sélénium soient considérables pour un changement lumineux relativement faible. Ils ont essayé par suite de construire des éléments de sélénium de faible résistance. La méthode qu'ils ont employée consistait à enrouler deux fils en spirales parallèles incrustées dans les stries faites sur un cylindre en bois, en ivoire, ou autres corps conducteurs, dont la section rappelât celle d'un couteau à papier, comme celle que décrit M. Bidwell dans la *Nature*, mais ils n'avaient pas reconnu la nécessité d'entailler une hélice au tour. Sur es vingt-cinq éléments qu'ils ont construits, ils ont invariablement reconnu, comme M. Bidwell, que ceux-là seuls qui avaient une grande résistance étaient sensibles. Ils ont appris que le professeur Adams avait obtenu des éléments sensibles de faible résistance, et s'il eût été là, ils auraient été heureux de lui demander si ce n'était pas seulement pour de très petites forces électro-motrices que ces éléments étaient sensibles. Ils avaient aussi reconnu que lorsque des éléments sensibles d'une résistance de 100,000 ohms avaient leur résistance réduite à seulement quelques centaines d'ohms par une détrempe naturelle s'étendant pendant plusieurs mois; ces éléments perdaient entièrement leur sensibilité. De plus, certains

éléments sensibles de grande résistance étaient sensibles tant que la force électromotrice à laquelle on recourait pour les faire traverser par un courant ne dépassait pas sept volts, mais pour des forces électromotrices plus considérables, les éléments devenaient relativement insensibles à la lumière, sans que leur sensibilité fût détruite pour des forces électromotrices plus faibles que les sept volts employés d'abord.

Ces phénomènes, qu'ils ne croient pas avoir été signalés jusqu'ici, leur paraissent indiquer que la sensibilité du sélénium est presque entièrement due à une polarisation et non pas seulement à un changement de résistance, comme on l'a généralement supposé et prétendu. Ils se demandent s'il ne serait pas possible que la lumière développât dans le sélénium une force électromotrice qui, pour divers éléments, croîtrait plus rapidement que la résistance de l'élément, et qui grandirait avec la force électromotrice de la batterie auxiliaire employée; en réalité le sélénium serait rapidement polarisé par le courant auxiliaire qui le traverse, et cette polarisation du degré de laquelle dépend le courant disparaîtrait plus ou moins, selon l'intensité de la lumière. Une petite force électromotrice est développée dans le sélénium par la lumière, quand on ne le fait traverser par aucun courant auxiliaire; cela a été prouvé d'une manière concluante par le professeur Adams et par M. Day, en 1876, résultat que MM. Ayrton et Perry ont également vérifié : ils ajoutent qu'une étude approfondie qu'ils ont faite récemment du mémoire publié par le professeur Adams et par M. Day (*Phil. Transactions* 1876) prouve que si nous supposons que tous les cas qui y sont mentionnés de sensibilité du sélénium à la lumière soient dus au développement d'une force électromotrice, et nullement à un changement de résistance, alors absolument tous les résultats auraient été produits, si cette force électromotrice s'était développée dans les divers éléments pour la même intensité lumineuse s'accroissant plus rapidement que la résistance de l'élément, et d'autant plus grande que la force électromotrice de la batterie auxiliaire était plus considérable. Ils sont donc en désaccord avec M. Bidwell, qui pense que le terme *élément* est tout à fait impropre.

Les professeurs Ayrton et Perry rappellent aux membres

de la Société la lettre qu'ils ont publiée dans la *Nature*, expliquant leur projet de vision par l'électricité. Il consiste essentiellement à projeter à la station de départ une image sur un écran formé d'un certain nombre d'éléments de sélénium, le courant qui circule dans chacun d'eux, étant fourni par une batterie auxiliaire et réglé d'après l'intensité du faisceau lumineux. A l'autre bout de la ligne de la lumière est projeté sur un tableau intercepté plus ou moins par de petits écrans, l'ouverture et la fermeture de chacun d'eux étant réglées par le courant auquel on a permis de traverser l'élément de sélénium correspondant à la station première. On obtient donc sur l'écran récepteur un dessin lumineux en mosaïque correspondant à l'image projetée sur l'écran à la station d'envoi, et dont les variations correspondent aux variations qu'on fait subir à cette dernière.

L'expérience qu'ils désiraient montrer à la Société consiste à reproduire fidèlement sur le tableau récepteur tous les changements d'éclairement d'une portion de ce tableau de la station d'envoi. L'écran est un disque d'aluminium noirci, suspendu dans le tube noirci d'une sorte de galvanomètre, et faisant un angle de 45° avec le tube, quand tout le faisceau lumineux, tandant à traverser le tube, est intercepté. Quand ce disque est dévié de 45° toute la lumière traverse le tube, et une image du trou carré est formée par une petite lentille reliée au tube. Pour chaque position intermédiaire de l'écran, l'image du trou carré se forme sur le tableau, mais avec une intensité d'éclairement variable. A l'écran est fixé un petit aimant faisant avec lui un angle de 67° 30′ : les deux sont suspendus par un fil de soie d'environ 2 millimètres de longueur. Ces angles ont été choisis de telle sorte que, d'abord, toute variation dans l'intensité de l'éclairement puisse être produite avec un petit mouvement de l'écran, et que secondement l'aimant puisse toujours être dans sa position de plus grande sensibilité dans la bobine que traverse le courant électrique, qui est réglé par le carré du sélénium correspondant à la station de réception. (L'expérience est alors répétée.)

Ils expliquent ensuite comment leur méthode de disposer 20 ou 40 éléments de sélénium sur un bras tournant leur per-

mettra, sans recourir à un grand nombre d'éléments, de transmettre électriquement une image complète d'objets même en mouvement, et leur fera de plus éviter les difficultés provenant des variations anormales du sélénium.

En dehors de l'appareil exposé à la réunion et destiné à prouver la possibilité de leur projet, les professeurs Ayrton et Perry annoncent qu'ils font également des expériences avec un grand miroir mince sur la face, à l'arrière duquel se croisent plusieurs nervures épaisses. Des électro-aimants, fixés solidement derrière les parties minces du miroir produisaient par leur expansion et leur contraction de très légères variations de convexité et de concavité sur la face du miroir. D'après leurs expériences sur les miroirs prétendus magiques des Japonais, on sait que d'extraordinairement faibles convexités ou concavités de cette sorte peuvent être rendues sensibles d'une manière très nette en projetant sur un écran un rayon divergent de lumière réfléchie. Ils se proposent d'avoir un miroir circulaire tournant, dont un secteur seulement sera muni à l'arrière des électro-aimants décrits plus haut, et ils espèrent qu'en le faisant communiquer avec un secteur tournant d'éléments de sélénium placé à l'autre extrémité de la ligne, ils produiront sur un écran une image de toute la surface du miroir correspondant à l'image éloignée projetée sur la surface engendrée par le secteur tournant d'éléments de sélénium.

(*Les Mondes.*) (*La Nature anglaise.*)

Télégraphe harmonique de Gray.

Le journal *the Operator* nous donne des nouvelles du télégraphe harmonique de Gray qui, comme on le sait, est appliqué sur une ligne spéciale entre New York et Boston. Des expériences faites le 21 décembre dernier, sur cette linge avec des appareils à cinq transmissions simultanées de chaque côté, c'est-à-dire avec cinq systèmes harmoniques *doublés en duplex*, ont montré qu'on pouvait expédier de cette manière

2,200 dépêches en neuf heures, soit 245 par heure, ou 49 pour chacun des systèmes en correspondance, en moyenne. L'un des employés, M. Jackson, put même en expédier, avec son correspondant, 54. Or la plus grande vitesse obtenue avec les systèmes quadruplex n'a jamais dépassé 432 dépêches en neuf heures, soit 48 par heure. On voit par là combien le système des télégraphes harmoniques peut être précieux sur les lignes encombrées.

(*La Lumière électrique.*)

Effets de la température sur l'isolation de l'huile de paraffine.

Le *Télégraphic Journal* publie dans son numéro de janvier les résultats de quelques expériences entreprises pour reconnaître les effets de la chaleur sur l'huile de paraffine, que M. Brooks emploie pour l'isolation de ses câbles souterrains. Les expériences ont été faites de la manière suivante : on plaça en face l'une de l'autre deux plaques de 25 pieds carrés de surface, en les éloignant seulement d'un demi-pouce, et on les immergea dans de l'huile de paraffine. La température de l'huile et des plaques fut élevée d'abord à 200° Fahr., et on la laissa ensuite s'abaisser lentement, après avoir introduit dans le circuit complété par cette sorte d'électrolyte, 300 éléments Daniell et un galvanomètre Thomson. Or voici les chiffres qui ont été obtenus :

Température. Degrés Fahr.	Déviations.	Température. Degrés Fahr.	Déviations.
200	325	130	35
195	280	125	30
190	260	120	26
185	230	115	22
180	180	110	20
175	155	105	17
170	125	100	15
165	105	90	12
160	90	80	10
155	75	70	8
150	60	60	6
145	50	50	5
140	45	40	4
135	40		

La résistance de l'huile en question diminue donc dans une assez grande proportion avec l'accroissement de la température, mais on a remarqué que la *capacité électro-statique* n'avait subi aucune variation dans toutes ces expériences.

(*La Lumière électrique.*)

Ascenseur électrique.

Le Dr Werner Siemens vient de réaliser une nouvelle application pratique des machines dynamo-électriques. En raison de la dépense qu'exige l'établissement et l'entretien des ascenseurs hydrauliques, il a imaginé un appareil ingénieux, mu par l'électricité, et qui fonctionnait dernièrement à l'Exposition industrielle de Mannheim, où, dans l'espace de quelques semaines, il a transporté plus de 8,000 personnes avec une vitesse de 0m,45 par seconde. Cet appareil est absolument sans danger, la voiture étant suspendue par deux câbles de fer qui s'enroulent sur des tambours en haut de l'édifice et qui portent des contrepoids à leurs extrémités pour équilibrer la charge. Un léger effort additionnel suffit par suite pour produire l'ascension ou la descente. Cet effet est transmis à l'état de courant électrique à une machine dynamo-électrique fixée à la voiture. Le générateur dynamo-électrique est en bas. Le mouvement s'effectue à l'aide de deux roues dentées portées par la partie inférieure de la voiture et qui engrènent avec une crémaillère verticale. Les roues sont mises en action à l'aide d'une vis sans fin par les armatures de la machine dynamo-électrique fixée à la voiture. Le courant est transmis du générateur fixe à la machine mobile par des conducteurs sur les côtés de la crémaillère, et deux rouleaux métalliques établissant le contact entre ces fils métalliques qui soutiennent la toiture. Cet appareil électrique s'appliquera fort bien aux hôtels et autres établissements pour le transport des personnes et des bagages.

(*Engineering.*)

Système de mesure de la force électromotrice des piles de M. Baille.

La force électro-motrice relative des piles, dit M. Baille, dans un mémoire présenté à l'Académie le 3 janvier, se déduit ordinairement des lois de Ohm et de l'étude de l'intensité des courants qu'elles produisent. Lorsqu'on veut mesurer directement ces forces et les exprimer en valeurs absolues, on emploie ordinairement les appareils très ingénieux de Sir W. Thomson ; mais ces instruments sont d'une manœuvre délicate, et les indications qu'ils donnent ne sont pas toujours exemptes de doute. L'étude que nous avons faite de la balance de torsion, M. Cornu et moi, par nos expériences sur la densité de la terre, m'avait conduit à penser que cet appareil, dont la construction et le réglage sont si simples, pouvait être mis en action par les forces les plus faibles et donner des mesures très précises. L'appareil se composait d'un long fil de torsion (2^m,70) en argent recuit, et d'un levier de 0^m,50, portant à chaque extrémité une boule de cuivre doré de 0^m,03 de diamètre. Des sphères pareilles étaient fixées aux sommets d'un rectangle de 20^m,50 et communiquaient entre elles deux à deux en diagonale. Le levier, placé à égale distance des sphères fixes, communiquait, par l'intermédiaire du fil de torsion, avec le pôle + d'une pile déterminé P, l'autre pôle étant au sol. Les nombres suivants représentent le potentiel d'un élément de pile, c'est-à-dire la quantité d'électricité que le pôle de cette pile répandrait sur une sphère de 0^m,01 de rayon ; ils sont exprimés en unités électriques, l'unité étant la quantité d'électricité qui, agissant sur elle-même à 0^m,01 de distance, produit une répulsion égale à 1 gramme :

Pile de Volta	0,03415,	circuit ouvert
— (zinc, sulfate de cuivre, cuivre)	0,02997,	—
— (zinc, eau acidulée, cuivre, sulfate de cuivre)	0,03709,	—
— (zinc, eau salée, charbon, peroxyde de manganèse)	0,05282,	—
— (zinc, eau salée, platine, chlorure de platine)	0,05027,	—
— (zinc, eau acidulée, charbon, acide azotique)	0,06285,	—

(*Comptes rendus.*)

Nouveau théorème d'électro-dynamique.

M. Cornu vient de présenter à l'Académie un nouveau théorème d'électro-dynamique, découvert par M. G. Cabanellas, qui peut être résumé de la manière suivante :

« Lorsque les arbres de deux machines électriques, théoriquement libres, quelconques, reversibles, sont liés dans un rapport invariable de rotation, si l'une des machines a, dans un temps quelconque, véhiculé dans un ordre quelconque, une quantité totale définie d'électricité, l'autre machine aura véhiculé dans le même temps une quantité d'électricité également définie, fonction de la première, quels que puissent être l'ordre, le nombre et la grandeur des modifications, intentionnelles ou non, exercées sur le circuit extérieur de cette second machine électrique.

« Pendant tout temps assez court pour que, dans les deux machines, les débits électriques puissent être considérés comme respectivement proportionnels au temps, le couple et la force tangentielle ne varieront pas respectivement dans chacun des machines. »

Espace protégé par un paratonnerre.

M. W. Preece a cherché à déterminer, en se basant sur les lignes de force et les surfaces équipotentielles, l espace protégé par un paratonnerre. Soit un nuage chargé d'électricité, positive planant à une certaine hauteur au-dessus du sol : il s'établira une certaine tension à travers l'air, et le sol se chargera d'électricité négative. Pour rendre les conditions aussi simples que possible, admettons que la surface inférieure du nuage soit plane et parallèle au sol qui serait également de surface plane : les lignes de force seront alors perpendiculaires aux deux surfaces, et tous les plans équipotentiels parallèles entre eux ainsi qu'aux surfaces du sol et du nuage, et équidistants entre eux. Si la différence de potentiel entre le nuage et le sol est de a volt, on aura $a-1$ plans équitotentiels, et la différence d'un plan à l'autre sera toujours de 1 volt. La distance des plans équipotentiels dépendra de la

différence totale de potentiel et de la distance entre le nuage et le sol. Si, par une cause quelconque, les plans équipotentiels se rapprochent de plus en plus, il arrivera un moment où l'air n'offrira plus assez de résistance pour empêcher la décharge disruptive, et, quand ce moment sera arrivé, la foudre éclatera entre le nuage et le sol. Lorsque sur le sol il s'élève une colline ou une maison, la régularité des lignes de force et des plans équipotentiels est troublée ; les premières inclinent vers l'obstacle et les derniers se rapprochent de plus en plus au-dessus de lui. Il arrive alors que ce n'est plus entre le nuage et le sol que peut se produire la décharge disruptive, mais bien entre le nuage et la colline ou la maison.

Si le corps faisant saillie dans l'air est un bon conducteur, par exemple un paratonnerre, le plan équipotentiel qui est à fleur de terre forme autour du paratonnerre une éminence dont la cime est la pointe du paratonnerre. Lorsqu'un nuage chargé d'électricité s'approche de ce paratonnerre dans une direction quelconque, deux lignes, une du nuage à la pointe du paratonnerre, l'autre perpendiculaire au sol, indiquent tout de suite dans quelle direction la décharge aura lieu, c'est-à-dire dans quelle direction les plans équipotentiels sont les plus denses. Prenons le cas où la puissance protectrice du paratonnerre est un minimum, c'est-à-dire celui où le nuage se rapproche latéralement et se trouve à la même hauteur que le paratonnerre. La décharge, s'il y en a, se produira dans ce cas, entre le nuage et le sol jusqu'au point où la distance entre le sol et le nuage est égale à la distance qui sépare le nuage de la pointe du paratonnerre. L'espace protégé par le paratonnerre sera donc, d'après M. Preece, un cône ayant pour base un cercle dont le rayon a une longueur égale à la hauteur du partonnerre. Nous estimons que les dimensions de l'espace protégé doivent être légèrement modifiées. Suivant nous, elles devraient être obtenues de la manière suivante : Supposons, dans un plan horizontal, passant par la pointe du paratonnerre, un cercle d'un rayon égal à la hauteur du paratonnerre et ayant son centre à la pointe de ce dernier. Supposons maintenant qu'une sphère, d'un rayon égal à la hauteur du paratonnerre, se meuve de façon que son centre occupe successivement tous les points de la périphérie

du cercle. C'est l'espace circonscrit par cette sphère qui représente l'espace effectivement protégé par le paratonnerre.

Dans toutes ces considérations, il ne faut pas perdre de vue, d'ailleurs, que le paratonnerre joue encore un autre rôle que celui d'attirer à lui la décharge disruptive; c'est de diminuer la différence de potentiel entre le nuage et le sol par une décharge insensible et continue.

Journal télégraphique du bureau international (*Berne*).

Pile photo-électrique de M. Minchin.

Le professeur Minchin, du collège d'ingénieurs de Cooper-Hall, a combiné une sorte de pile dans laquelle le dégagement électrique est produit par l'action de la lumière. Elle consiste dans un récipient rempli d'eau carbonatée et légèrement acidulée, dans laquelle sont immergées deux lames étamées à la manière des miroirs. Quand on projette sur une de ces lames un rayon lumineux, il se développe immédiatement un courant assez intense pour faire dévier l'aiguille d'un galvanomètre placé dans le circuit réunissant les deux plaques. Si un écran de verre rouge est interposé sur le trajet du rayon lumineux, le courant est alors peu sensible. Le professeur Minchin avait commencé ses expériences en rendant son liquide fluorescent, mais il trouva bientôt que l'eau commune contenant un sel de chaux produisait un aussi bon effet. Cette pile présente la particularité que le courant qu'elle produit décroît peu de temps après son exposition à la lumière, et change de sens après quelques instants; celle des deux plaques qui reçoit le rayon lumineux est d'abord positive, mais elle prend bientôt une polarité négative. M. Minchin s'est servi de cet élément pour remplacer le sélénium dans le photophone, et il n'en obtint pas moins des résultats satisfaisants.

(*Telegraphic journal.*)

Contrôleur de la marche des machines à lumière.

M. E. Debrun a employé, pour contrôler la marche des machines à lumière, une sorte de mesureur d'énergie électrique

extrêmement simple, qui lui a très bien réussi. C'est une longue bobine magnétisante fixée horizontalement, dont le noyau magnétique, moitié fer et moitié cuivre, forme l'un des côtés d'un parallélogramme articulé. Ce noyau, sous l'influence de l'attraction dynamique de la bobine, entre plus ou moins dans celle-ci, suivant l'intensité du courant qui la traverse, et un contrepoids convenablement disposé sert de force antagoniste. Enfin un index fixé sur la tige se déplace avec elle et se promène devant une échelle graduée en dixièmes de webers, qui indique, à chaque instant, au mécanicien chargé des machines, l'intensité du courant fourni par elles. M. E. Debrun a remarqué qu'un déplacement de l'index de 1 centimètre sur l'échelle permettait de constater dans son appareil si les charbons de lumière brûlaient par la pointe ou par la base. L'hélice de sa bobine n'était constituée que par un fil de 4 millimètres de diamètre et de 2 mètres de longueur. (*La Lumière électrique.*)

BIBLIOGRAPHIE.

En outre du *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme* de M. J.-E.-H. Gordon, dont le premier volume, traduit et annoté par M. Renaud (voir p. 88), vient d'être publié par la librairie Baillière et fils, nous citerons encore comme venant de paraître les ouvrages suivants :

Les Grandeurs électriques et leur Mesure en unités absolues, par M. E.-E. Blavier (Dunod, 1 vol. in-8°, 580 p.), qui est la reproduction à peu près textuelle d'une série d'articles qui ont paru sous ce même nom dans les *Annales télégraphiques.*

La Météorologie appliquée à la prévision du temps, leçon faite à l'École supérieure de télégraphie par M. E. Mascart, directeur du bureau central météorologique, et recueillie par M. Moureau, météorologiste au bureau central (une brochure de 58 pages avec 15 planches).

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, 26, rue Racine.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1881 — Mars-Avril.

THÉORIE DES QUATERNIONS.

CONFÉRENCES FAITES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE TÉLÉGRAPHIE

PAR M. SARRAU,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres, répétiteur à l'École polytechnique.

(Fin. — Voir le numéro de Janvier-Février 1881.)

II

Nous avons vu qu'un quaternion quelconque

$$A = s + xi + yj + yk$$

peut être mis sous la forme

$$A = s + r(ai + bj + ck),$$

r étant le module du vecteur $xi + yj + yk$, et a, b, c ses cosinus directeurs. Si l'on pose

$$ai + bj + ck = \lambda,$$

λ étant le vecteur de module égal à l'unité porté à partir de l'origine sur la direction du précédent, on a :

$$A = s + r\lambda.$$

On peut toujours poser :

$$\begin{cases} s = \rho \cos \theta, \\ r = \rho \sin \theta, \end{cases}$$

en sorte que le quaternion A prend la forme

$$A = \rho(\cos \theta + \lambda \sin \theta)$$

qui n'est autre que celle des quantités dites imaginaires. Nous avons vu que λ est un symbole analogue au symbole i, en ce sens que son carré est égal à -1, et que les expressions formées au moyen de λ sont soumises à des théorèmes analogues à ceux qui régissent le calcul des quantités imaginaires.

En particulier, on peut remarquer qu'un quaternion réduit à la forme :

$$A = \rho(\cos \theta + \lambda \sin \theta)$$

peut être représenté par une exponentielle analogue à $e^{\theta\sqrt{-1}}$.

En effet, on sait que e^z peut se définir par l'égalité :

$$e^z = 1 + \frac{z}{1} + \frac{z^2}{1.2} + \ldots + \frac{z^m}{1.2\ldots m} + \ldots,$$

où le second membre est une série convergente, quelle que soit la valeur attribuée à z.

En remplaçant z par $\theta\lambda$, et traitant les puissances de λ comme celles de i, on trouve facilement que

$$e^{\theta\lambda} = \cos \theta + \lambda \sin \theta.$$

Tout quaternion peut donc se mettre sous la forme

$$A = \rho e^{\theta\lambda};$$

mais il faut faire ici une restriction qui rend cette notation presque inutile, car la propriété essentielle des exponentielles ne subsiste pas; nous voulons parler de

l'égalité :

$$e^{u+v} = e^u . e^v.$$

Pour établir cette identité, quand il est question des quantités algébriques ordinaires, on développe e^u par la formule du binôme :

$$e^u = \sum \frac{u^r}{1.2\ldots r}.$$

On développe de même e^v :

$$e^v = \sum \frac{v^s}{1.2\ldots s},$$

en sorte que le produit $e^u . e^v$ est de la forme :

$$e^u . e^v = \sum \frac{u^r . v^s}{1.2\ldots r.1.2\ldots s}.$$

D'autre part,

$$e^{u+v} = \sum \frac{(u+v)^{r+s}}{1.2\ldots(r+s)},$$

ou bien en développant le binôme $(u+v)^{r+s}$,

$$e^{u+v} = \sum \frac{u^r . v^s}{1.2\ldots r.1.2\ldots s},$$

ce qu'il fallait démontrer.

Dans la théorie des quaternions, nous ne pouvions rien faire de semblable, car la formule du binôme ne s'applique plus, puisque la valeur d'un produit change avec l'ordre des facteurs, en sorte que $(u+v)^2$, par exemple, doit s'écrire

$$u^2 + uv + vu + v^2,$$

sans qu'il soit possible de réduire les deux termes du milieu de façon à écrire :

$$u^2 + 2uv + v^2.$$

Nous allons maintenant établir une propriété relative au produit de trois vecteurs.

Soient les trois vecteurs :

$$\begin{aligned} \alpha\ &= xi + yj + yk, \\ \alpha' &= x'i + y'j + y'k, \\ \alpha'' &= x''i + y''j + y''k. \end{aligned}$$

Il s'agit de former le produit $\alpha\alpha'\alpha''$. Formons d'abord e produit $\alpha\alpha'$. On a vu qu'il avait pour valeur :

$$\begin{aligned} \alpha\alpha' = &-(xx' + yy' + zz') \\ &+ (yz' - zy')i + (zx' - xz')j + (xy' - yx')k. \end{aligned}$$

Multiplions cette expression par α'', et cherchons successivement la partie réelle et la partie symbolique du produit définitif.

La partie réelle s'obtiendra en prenant dans le produit les termes en i^2, j^2, k^2, dont les coefficients sont évidemment les produits analogues à

$$(yz' - zy')x'',$$

leur somme sera évidemment le déterminant formé avec les coefficients de i, j, k dans les trois vecteurs proposés. On a donc :

$$S(\alpha\alpha'\alpha'') = -\begin{vmatrix} x & y & z \\ x' & y' & z' \\ z'' & y'' & z'' \end{vmatrix}$$

Si l'on cherchait à former de la même manière la partie symbolique, on serait conduit à des calculs très compliqués, qu'on peut éviter par l'emploi des algorithmes usités dans le calcul des quaternions. Nous opérerons donc comme suit. On a, par définition des symboles S et V,

$$\alpha\alpha' = S(\alpha\alpha') + V(\alpha\alpha').$$

Multiplions par α'', en respectant l'ordre des facteurs :

$$\alpha\alpha'\alpha'' = S(\alpha\alpha').\alpha'' + V(\alpha\alpha').\alpha''.$$

Telle est l'expression dont nous cherchons la partie symbolique.

Il est clair que $S(\alpha\alpha').\alpha''$ produit d'une expression réelle par un vecteur ne contient pas de termes réels, en sorte qu'on a :

$$V(\alpha\alpha'\alpha'') = S(\alpha\alpha').\alpha'' + V[V(\alpha\alpha').\alpha''].$$

D'après ce qu'on a vu dans la précédente conférence relativement à la partie symbolique d'un produit de deux vecteurs, on a :

$$V[V(\alpha\alpha').\alpha''] = \frac{1}{2}[V(\alpha\alpha').\alpha'' - \alpha'' V(\alpha\alpha')],$$

en sorte que l'égalité précédente devient :

$$V(\alpha\alpha'\alpha'') = S(\alpha\alpha').\alpha'' + \frac{1}{2}[V(\alpha\alpha').\alpha'' - \alpha'' V(\alpha\alpha')],$$

ou bien

$$\begin{aligned} 2V(\alpha\alpha'\alpha'') &= 2S(\alpha\alpha').\alpha'' + V(\alpha\alpha').\alpha'' - \alpha'' V(\alpha\alpha') \\ &= [S(\alpha\alpha').\alpha'' + V(\alpha\alpha').\alpha''] + [S(\alpha\alpha').\alpha'' - \alpha'' V(\alpha\alpha')] \\ &= \alpha\alpha'\alpha'' + \alpha''[S(\alpha\alpha') - V(\alpha\alpha')]. \end{aligned}$$

Or, on sait que, ayant un produit de deux vecteurs, s l'on intervertit l'ordre des facteurs, la partie réelle ne change pas, et la partie symbolique seule change de signe. En appliquant ceci au produit $\alpha\alpha'$ qui entre dans la parenthèse du dernier terme de notre égalité, elle devient :

$$\begin{aligned} 2V(\alpha\alpha'\alpha'') &= \alpha\alpha'\alpha'' + \alpha''[S(\alpha'\alpha) + V(\alpha'\alpha)] \\ &= \alpha\alpha'\alpha'' + \alpha''\alpha'\alpha \\ &= \alpha(\alpha'\alpha'' + \alpha''\alpha') - \alpha\alpha''\alpha' + \alpha''(\alpha'\alpha + \alpha\alpha') - \alpha''\alpha\alpha' \\ &= \alpha(\alpha'\alpha'' + \alpha''\alpha') - (\alpha\alpha'' + \alpha''\alpha)\alpha' + \alpha''(\alpha'\alpha + \alpha\alpha'), \end{aligned}$$

ou bien, d'après ce qu'on sait sur la somme de deux produits de vecteurs qui ne diffèrent que par l'ordre des facteurs :

$$V(\alpha\alpha'\alpha'') = \alpha S(\alpha'\alpha'') - \alpha' S(\alpha''\alpha) + \alpha'' S(\alpha\alpha').$$

Telle est la valeur de la partie symbolique du produit $\alpha\alpha'\alpha''$, qu'on s'était proposé de déterminer. Les transfor-

mations qui nous y ont conduit donnent une idée assez exacte des procédés de calcul employés dans la théorie des quaternions.

De la division des quaternions.

En analyse, on définit la division de la façon suivante.

Étant donnés un produit et l'un de ses facteurs, déterminer l'autre facteur.

Si l'on veut conserver cette définition pour les quantités qui nous occupent, on est conduit à une ambiguïté. En effet, la valeur d'un produit étant subordonnée à l'ordre de ses facteurs, il est clair que le résultat de la division dépendra de la place attribuée au facteur qui joue le rôle de dividende. A étant le produit donné, B et φ les facteurs, suivant qu'on écrira :

$$A = B \times \varphi,$$

ou bien

$$A = \varphi \times B;$$

il en résultera pour φ deux valeurs différentes, qu'il est d'ailleurs facile d'obtenir. Il suffira pour cela de remplacer dans chacune des égalités précédentes A, B, φ par leurs valeurs explicitées :

$$\begin{aligned} A &= s + xi + yj + zk, \\ B &= s' + x'i + y'j + z'k, \\ \varphi &= s'' + x''i + y''j + z''k, \end{aligned}$$

et d'identifier les parties réelles et les coefficients de i, j, k dans les deux membres. On obtiendra ainsi deux systèmes d'équations du premier degré qui détermineront s'', x'', y'', z'', et donneront chacun séparément une des deux solutions.

On préfère généralement introduire dans le calcul la quantité dite *l'inverse d'un quaternion*, dont l'emploi repose sur le fait suivant :

Étant donné un quaternion, il en existe un autre et un seul qui, multiplié par le premier, donne un produit égal à 1.

En effet, nous avons vu qu'on a indifféremment :

$$A . kA = \overline{\tau A}^2,$$
$$kA . A = \overline{\tau A}^2,$$

ce qui peut s'écrire :

$$A \cdot \frac{kA}{\overline{\tau A}^2} = 1,$$

ou

$$\frac{kA}{\overline{\tau A}^2} \cdot A = 1,$$

c'est-à-dire que, quel que soit l'ordre des facteurs, l'inverse de A est $\frac{kA}{\overline{\tau A}^2}$. Ainsi :

$$\frac{1}{A} = A^{-1} = \frac{kA}{\overline{\tau A}^2}.$$

Ceci posé, il est facile d'avoir les valeurs des deux quotients de deux quaternions A et B. En effet, $\frac{A}{B}$ peut s'écrire soit AB^{-1}, soit $B^{-1}A$, et, dans les deux cas, on est ramené à effectuer une multiplication.

En réalité, on n'introduit jamais qu'un des deux quotients, et c'est le cours même du calcul qui indique lequel il convient d'envisager.

Nous en allons en voir sur-le-champ un exemple dans la différentiation des quaternions.

De la différentiation des quaternions.

Quand tous les termes d'un quaternion sont des fonctions d'un paramètre variable t, on comprend immédiatement ce qui signifie l'expression : *dérivée d'un quater-*

nion. On aura :

$$\frac{dA}{dt}=\frac{ds}{dt}+\frac{dx}{dt}i+\frac{dy}{dt}j+\frac{dz}{dt}k.$$

Étant donné un quaternion, proposons-nous de trouver la dérivée de son module et de son unité par rapport au paramètre variable dont dépendent ses différents termes. On a, comme on l'a vu :

$$A=\tau A\times UA.$$

Cherchons d'abord la dérivée du module : De l'égalité

$$\tau A=\sqrt{s^2+x^2+y^2+z^2},$$

on tire :

$$\frac{d(\tau A)}{dt}=\frac{1}{\tau A}\left(s\frac{ds}{dt}+x\frac{dx}{dt}+y\frac{dy}{dt}+z\frac{dz}{dt}\right),$$

et il est facile de vérifier que la parenthèse n'est autre chose que la partie réelle du produit de $\frac{dA}{dt}$ par kA. On a donc :

$$\frac{d(\tau A)}{dt}=\frac{1}{\tau A}\,S\left(\frac{dA}{dt}\cdot kA\right).$$

Multiplions le numérateur et le dénominateur du second membre par τA :

$$\frac{d(TA)}{dt}=\tau A\cdot S\left(\frac{dA}{dt}\cdot\frac{kA}{\tau A^2}\right)$$

$$=\tau A\cdot S\left(\frac{dA}{dt}\cdot A^{-1}\right).$$

Cherchons maintenant la dérivée de UA.

On a identiquement :

$$\tau A\cdot VA=A.$$

Dérivons les deux membres par rapport à t :

$$\frac{d(\tau A)}{dt}\cdot VA+\tau A\,\frac{d(VA)}{dt}=\frac{dA}{dt},$$

et remplaçons $\frac{d(\tau A)}{dt}$ par la valeur que nous venons de trouver. Nous aurons :

$$S\left(\frac{dA}{dt}A^{-1}\right)\cdot A + \tau A\frac{d(UA)}{dt} = \frac{dA}{dt}.$$

Multiplions les deux membres par A^{-1} :

$$S\left(\frac{dA}{dt}A^{-1}\right) + \tau A\frac{d(UA)}{dt}A^{-1} = \frac{dA}{dt}A^{-1},$$

et résolvons par rapport au second terme :

$$\tau A\frac{d(UA)}{dt}A^{-1} = \frac{dA}{dt}A^{-1} - S\frac{dA}{dt}A^{-1},$$

ou bien

$$\frac{d(UA)}{dt}\tau A\cdot A^{-1} = V\left(\frac{dA}{dt}A^{-1}\right).$$

Or, on a identiquement $A^{-1} = \overline{\tau A}^{-1}\overline{UA}^{-1}$, en sorte que l'égalité devient :

$$\frac{d(UA)}{dt}\overline{UA}^{-1} = V\left(\frac{dA}{dt}A^{-1}\right),$$

ou enfin

$$\frac{d(UA)}{dt} = V\left(\frac{dA}{dt}\cdot A^{-1}\right)\cdot UA.$$

Une fonction de quaternions a-t-elle une dérivée?

Lorsqu'on envisage une fonction analytique ordinaire, $f(z)$, on sait que l'existence de sa dérivée résulte de la possibilité de mettre son accroissement sous la forme :

$$d\cdot f(z) = \varphi'(z)\cdot dz.$$

Or, quand on a affaire à une fonction de quaternions, ce dernier point est irréalisable, en général, à cause de l'impossibilité d'intervertir l'ordre des facteurs, de façon à assigner, dans chaque terme, le même rang à l'accroissement dz. Par exemple, soit $f(z) = z^2$. On aura :

$$d\cdot f(z) = (z+dz)^2 - z^2 = z\cdot dz + dz\cdot z + dz^2.$$

En négligeant le dernier terme qui est infiniment petit du second ordre, on a donc :

$$d \cdot f(z) = z \cdot dz + dz \cdot z,$$

et c'est là une forme irréductible, en sorte que le quotient $\frac{d \cdot f(z)}{dz}$, qui, en analyse, représente la dérivée, n'a plus ici de signification.

Application de la théorie des quaternions à la rotation des solides autour d'un axe fixe.

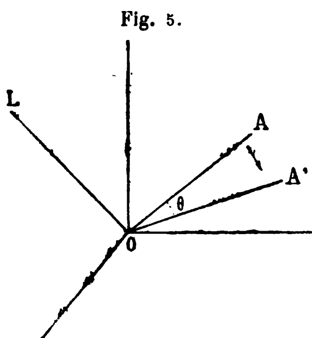
Nous allons voir qu'il est facile de représenter simplement les fonctions très complexes qui représentent les coordonnées des points d'un solide après un mouvement quelconque autour d'un axe.

Lemme. Le produit :

$$(\cos\theta + \lambda \sin\theta) \cdot \alpha,$$

où la parenthèse est un quaternion de module $= 1$ et de vecteur unitaire $OL = \lambda$ (*fig.* 5), et $\alpha = OA$ un vecteur quelconque perpendiculaire à la direction λ — est un vecteur OA' obtenu en faisant tourner OA d'un angle θ dans le sens direct dans le plan perpendiculaire à OL.

Fig. 5.



Soit α' le vecteur OA' ainsi obtenu. Il s'agit de montrer qu'on a :

$$\alpha' = (\cos\theta + \lambda \sin\theta)\alpha.$$

En effet, faisons le produit $\alpha\alpha'$. D'après ce qu'on a vu dans la première conférence sur un tel produit, et en désignant par r le module commun des deux vecteurs OA et OA', qui sont, par hypothèse, perpendiculaires à la di-

rection λ, on a :

$$\alpha\alpha' = -r^2\cos\theta - r^2\sin\theta\cdot\lambda.$$

Multiplions les deux membres par α :

$$\alpha'\alpha^2 = -r^2\alpha' = -r^2(\cos\theta + \lambda\sin\theta)\cdot\alpha,$$

d'où

$$\alpha' = (\cos\theta + \lambda\sin\theta)\cdot\alpha. \qquad \text{C. Q. F. D.}$$

Supposons maintenant le vecteur OA oblique sur la direction de l'axe OL.

Théorème. Soit un axe de rotation (*fig.* 6) caractérisé par la direction λ, et désignons par 2θ l'angle de la rotation dans laquelle se trouve entraîné le vecteur α. Je considère le quaternion :

$$P = \cos\theta + \lambda\sin\theta,$$

et je dis que le produit $P\alpha P^{-1}$ représente la position du vecteur après la rotation.

Fig. 6.



Formons le produit $P\alpha P^{-1}$.

On a d'abord :

$$P\alpha = \cos\theta\cdot\alpha + \sin\theta\cdot\lambda\alpha;$$

puis en multipliant par $P^{-1} = \cos\theta - \lambda\sin\theta$,

$$P\alpha P^{-1} = \cos^2\theta\cdot\alpha + \sin\theta\cos\theta\,(\lambda\alpha - \alpha\lambda) - \sin^2\theta\cdot\lambda\alpha\lambda.$$

Nous considérerons maintenant trois cas :

1° α et λ ont la même direction.

Alors $\alpha = r\cdot\lambda$, r étant le module du vecteur OA.

Il en résulte :

$$\lambda\alpha\lambda = r\lambda^3 = -r\lambda = -\alpha,$$

et la valeur de $P\alpha P^{-1}$ se réduit à :

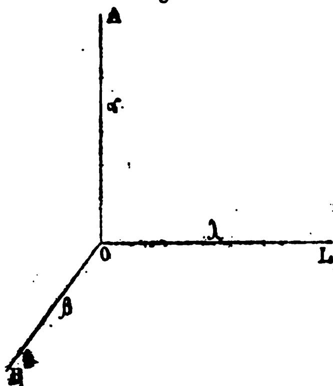
$$P\alpha P^{-1} = \alpha$$

et l'on voit que, dans ce cas, ce produit représente bien le nouveau vecteur.

2° α est perpendiculaire à λ.

Comme on sait, ces deux vecteurs perpendiculaires ont un produit dépourvu de partie réelle, c'est-à-dire que ce produit est un vecteur, lequel, d'ailleurs, est perpendiculaire au plan des deux autres et dirigé de telle sorte que la rotation du premier vecteur vers le second se fasse dans le sens direct. Ce sera donc le vecteur β marqué sur la figure 7 :

Fig. 7.



$$\alpha\lambda = \beta.$$

Le produit $\lambda\alpha\lambda$ devient donc $\lambda\beta$, et ce dernier produit est égal à α, pour la même raison.

La valeur de $P\alpha P^{-1}$ est donc, dans ce cas :

$$P\alpha P^{-1} = (\cos^2\theta - \sin^2\theta)\alpha + \sin\theta\cos\theta(\lambda\alpha - \alpha\lambda).$$

D'ailleurs, λ et α étant perpendiculaires; $\lambda\alpha$ et $\alpha\lambda$ sont égaux et de signes contraires (car ces deux produits représentent des vecteurs égaux et opposés).

On a donc :

$$\begin{aligned} P\alpha P^{-1} &= (\cos^2\theta - \sin^2\theta)\alpha + 2\sin\theta\cos\theta\cdot\lambda\alpha \\ &= (\cos 2\theta + \sin 2\theta\cdot\lambda)\alpha. \end{aligned}$$

Or, d'après le lemme, cette dernière expression représente bien la nouvelle position du vecteur OA après la rotation.

3° Considérons le cas général où OA est oblique par rapport à OL (*fig.* 8), et supposons que le plan LOA tourne de 2θ autour de OL.

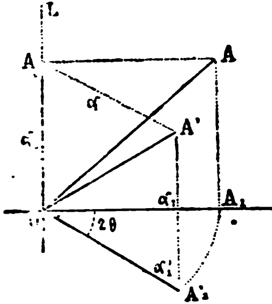


Fig. 8.

Décomposons le vecteur OA d'après la règle du parallélogramme suivant la direction OL et la direction perpendiculaire :

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1.$$

L'expression en question $P\alpha P^{-1}$ devient :

$$P\alpha P^{-1} = P(\alpha_0 + \alpha_1)P^{-1} = P\alpha_0 P^{-1} + P\alpha_1 P^{-1}.$$

D'après le premier cas, $P\alpha_0 P^{-1}$ reproduit le vecteur α_0.

D'après le second cas, $P\alpha_1 P^{-1}$ donne le vecteur OA'_1, obtenu par une rotation de OA_1 autour de OL égale à 2θ.

La somme $P\alpha_0 P^{-1} + P\alpha_1 P^{-1}$ représente alors la résultante de α_0 et α'_1, c'est-à-dire le vecteur OA', qu'on devait évidemment trouver.

Le théorème énoncé est donc bien général.

Remarque. Si, au lieu de désigner la rotation par 2θ, on la représente par θ, il est clair que P devient :

$$\cos\frac{\theta}{2} + \lambda \sin\frac{\theta}{2} = P^{\frac{1}{2}},$$

et l'expression qui donne la nouvelle position du vecteur $OA = \alpha$, devient :

$$P^{\frac{1}{2}}\alpha P^{-\frac{1}{2}}.$$

III.

On a vu que, λ étant le vecteur unitaire qui caractérise la direction d'un axe de rotation, et θ l'angle dont

un vecteur α tourne autour de cet axe, la nouvelle position α' est donnée par la relation :

$$\alpha' = \mathrm{P}\alpha\mathrm{P}^{-1},$$

en posant :

$$\mathrm{P} = \cos\frac{\theta}{2} + \lambda\sin\frac{\theta}{2}.$$

Qui sont devenues les coordonnées de l'extrémité de ce vecteur? Euler a traité cette question par l'analyse en la rattachant à la transformation des coordonnées; mais sa solution est très complexe; celles qu'on en a données depuis ne sont pas plus simples, car elles supposent la démonstration préalable d'un certain nombre de formules. Nous allons voir, au contraire, que la théorie des quaternions conduit assez rapidement au résultat.

Soient x, y, z et x', y', z' les coordonnées des extrémités des deux vecteurs α et α', c'est-à-dire qu'on a :

$$\alpha = xi + yj + zk,$$
$$\alpha' = x'i + y'j + z'k,$$

avec :

$$\alpha' = \mathrm{P}\alpha\mathrm{P}^{-1}$$
$$\mathrm{P} = \cos\frac{\theta}{2} + \lambda\sin\frac{\theta}{2}.$$

Enfin, si a, b, c sont les cosinus directeurs du vecteur unitaire λ, on a :

$$\lambda = ai + bj + ck.$$

Ceci posé, formons le produit $\mathrm{P}\alpha\mathrm{P}^{-1}$; c'est :

$$\left(\cos\frac{\theta}{2} + \lambda\sin\frac{\theta}{2}\right)\alpha\left(\cos\frac{\theta}{2} - \lambda\sin\frac{\theta}{2}\right),$$

ou bien, en mettant en facteur la quantité réelle $\cos^2\frac{\theta}{2}$ et posant $\lambda\,\mathrm{tg}\frac{\theta}{2} = \beta$:

$$\cos^2\frac{\theta}{2}\left[(1+\beta)\alpha(1-\beta)\right].$$

Laissons provisoirement $\cos^2\frac{\theta}{2}$ de côté, et effectuons le produit entre parenthèses, qui est égal à :

$$(\alpha + \beta\alpha)(1 - \beta),$$

ou bien

$$\alpha + \beta\alpha - \alpha\beta - \beta\alpha\beta,$$

ou bien, en remarquant que $\beta\alpha - \alpha\beta = 2V(\beta\alpha)$,

$$\alpha + 2V(\beta\alpha) - \beta\alpha\beta,$$

ou encore, en appliquant au dernier terme ce qu'on sait du produit de trois vecteurs (*),

$$\alpha + 2V(\beta\alpha) - 2\beta S(\alpha\beta) + \alpha S(\beta^2).$$

Posons d'ailleurs, d'après la notation anglaise :

$$(1)\qquad \begin{cases} a \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = \lambda, \\ b \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = \mu, \\ c \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = \nu, \end{cases}$$

en sorte que $\beta = \lambda i + \mu j + \nu k$.

En tenant compte de ce qui précède, l'équation

$$\alpha' = P\alpha P^{-1}$$

peut s'écrire :

$$\alpha' = \cos^2\frac{\theta}{2}\,[\alpha + 2V(\beta\alpha) - 2\beta S(\alpha\beta) + \alpha S(\beta^2)],$$

(*) Dans le produit $\beta\alpha\beta$, la partie réelle est nulle, parce que c'est, d'après la règle générale, un déterminant dont deux lignes sont les mêmes, dans ce cas particulier. — Quant à la partie symbolique, c'est, d'après la règle générale,

$$\beta S(\alpha\beta) - \alpha S(\beta^2) + \beta S(\beta\alpha),$$

ou bien, en remarquant que $(S\alpha\beta) = S(\beta\alpha)$:

$$2\beta S(\alpha\beta) - \alpha S(\beta^2).$$

ou encore, en remarquant que d'après les relations (1),

$$\cos^2\frac{\theta}{2} = \frac{1}{1+\operatorname{tg}^2\frac{\theta}{2}} = \frac{1}{1+\lambda^2+\mu^2+\nu^2} = \frac{1}{h},$$

on a :

$$h\alpha' = \alpha + 2V(\beta\alpha) - 2\beta S(\alpha\beta) + \alpha S(\beta^2),$$

ou bien, en remplaçant α et α' par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} h(x'i+y'j+z'k) = xi+yj+zk &+ 2(\mu z-\nu y)i + 2(\nu x-\lambda z)j \\ &+ 2(\lambda y-\mu x)k + 2(\lambda x+\mu y+\nu z)(\lambda i+\mu j+\nu k) \\ &- (\lambda^2+\mu^2+\nu^2)(xi+yj+zk), \end{aligned}$$

et, si l'on identifie les coefficients de i, j, k :

$$\left\{\begin{aligned} hx' &= (1+\lambda^2-\mu^2-\nu^2)x + 2(\lambda\mu-\nu)y + 2(\lambda\nu+\mu)z, \\ hy' &= 2(\mu\lambda+\nu)x + (1-\lambda^2+\mu^2-\nu^2)y + 2(\mu\nu-\lambda)z, \\ hz' &= 2(\nu\lambda-\mu)x + 2(\nu\mu+\lambda)y + (1-\lambda^2-\mu^2+\nu^2)z, \end{aligned}\right.$$

formules qui résolvent la question.

Applications à la cinématique.

On a essayé d'établir la cinématique tout entière au moyen de la théorie des quaternions; mais, en réalité, il ne semble y avoir avantage à l'employer que dans le cas où l'on a à considérer des rotations.

Nous allons faire voir comment M. Laisant a pu ainsi démontrer très simplement le théorème de Coriolis.

Le mouvement d'un point est déterminé quand on connaît les fonctions qui déterminent ses coordonnées en fonction du temps :

$$\left\{\begin{aligned} x &= \varphi(t), \\ y &= \psi(t), \\ z &= \chi(t). \end{aligned}\right.$$

En représentant le point par un vecteur :

$$xi + yj + zk,$$

on n'a plus qu'une seule fonction à envisager :

$$u = f(t).$$

La dérivée de u par rapport à t est un vecteur v égal à la vitesse du point. La dérivée seconde w est un autre vecteur égal à son accélération.

Au bout d'un intervalle de temps infiniment petit dt, le vecteur u sera devenu $u + \Delta u$, et, en développant par la formule de Taylor :

$$u' = u + \Delta u = u + \frac{du}{dt}dt + \frac{du^2}{dt^2}\frac{dt^2}{2} + \ldots,$$

ou bien

$$u' = u + vdt + w\frac{dt^2}{2} + \ldots$$

Si, pendant dt, le mouvement peut être considéré comme une rotation d'un angle θ autour d'un vecteur unitaire λ, u devient :

$$u' = \mathrm{P}u\mathrm{P}^{-1}$$

avec

$$\mathrm{P} = \cos\frac{\theta}{2} + \lambda\sin\frac{\theta}{2};$$

mais ici θ est infiniment petit, en sorte que, aux infiniment petits près du second ordre :

$$\mathrm{P} = 1 + \lambda\frac{\theta}{2}.$$

On a donc :

$$u' = \left(1 + \lambda\frac{\theta}{2}\right)u\left(1 - \lambda\frac{\theta}{2}\right)$$
$$= \left(u + \frac{1}{2}\lambda\theta u\right)\left(1 - \frac{1}{2}\lambda\theta\right)$$
$$= u + \frac{1}{2}\theta(\lambda u - u\lambda + \ldots),$$

ou bien

$$u' - u = \frac{\theta}{2}(\lambda u - u\lambda),$$
$$du = \theta\mathrm{V}(\lambda u),$$

ou, en divisant les deux membres par dt,

$$\frac{du}{dt} = \frac{\theta}{dt} V(\lambda u).$$

Désignons par γ la vitesse angulaire $\frac{\theta}{dt}$:

$$\frac{du}{dt} = \gamma V(\lambda u).$$

Le facteur numérique γ peut passer sous le signe V :

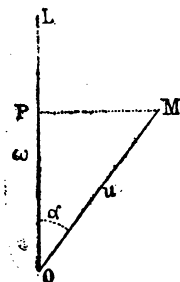
$$\frac{du}{dt} = V(\gamma \lambda u).$$

Le produit $\gamma\lambda$ représente un vecteur de même direction que λ, mais dont la grandeur $\gamma\lambda$ est égale à la vitesse de rotation que nous désignerons par ω, en sorte que

$$\frac{du}{dt} = V(\omega u).$$

Cette équation se vérifie facilement, d'après ce qu'on sait sur la partie vectorielle du produit de deux vecteurs. En effet, soit OL (*fig.* 9) l'axe autour duquel se fait la rotation de vitesse ω, et soit OM le vecteur du point M. Désignons par $\bar{\omega}$ et $\bar{u}$ les modules de ω et u.

Fig. 9.



V(ωu) sera un vecteur perpendiculaire au plan MQL, et situé en avant de ce plan de façon à amener ω vers u dans le sens direct. Quant à sa grandeur, ce sera $\bar{\omega}\bar{u} \sin \alpha = \bar{\omega} \cdot \text{MP}$.

En sorte que $\frac{du}{dt}$ se trouve bien égal à $\omega \cdot \text{MP}$, comme il fallait le vérifier.

De la formule $\frac{du}{dt} = V(\omega u)$, on déduit :

$$u' = u + V(\omega u)dt + \frac{dV(\omega u)}{dt}\frac{dt^2}{2} + \ldots$$

Ceci nous permet de passer au théorème de Coriolis :

On se propose de trouver le mouvement absolu d'un point M, connaissant son mouvement relatif par rapport à un système mobile, et connaissant le mouvement d'entraînement de ce système mobile.

Soient v_1 la vitesse,	w_1 l'accélération de M	dans le mouv^t	relatif,
v_2 —	w_2 —	—	d'entraînement,
v —	w —	—	absolu.

Le système mobile consiste généralement en axes dont le mouvement élémentaire peut être décomposé en une translation et une rotation. Nous laisserons de côté la translation dont il est facile de tenir compte, et nous ne nous occuperons que de la rotation à laquelle nous supposerons une vitesse ω.

Soit u le vecteur qui définit la position du point M par rapport aux axes mobiles.

Supposons le point M en repos relatif; il sera alors seulement animé d'un mouvement d'entraînement comme le système de comparaison, et, d'après le lemme, on aura :

$$(1) \qquad \left\{ \begin{aligned} v_2 &= V(\omega u), \\ w_2 &= \frac{dV(\omega u)}{dt}. \end{aligned} \right.$$

Ceci posé, immobilisons les axes mobiles pendant un instant dt. Le mouvement relatif du point peut alors être traité comme un mouvement absolu, et, si le vecteur devient u', on a :

$$u' = u + v_1 dt + w_1 \frac{dt^2}{2}.$$

Pour avoir le mouvement réel, il nous suffit mainte-

nant d'imprimer aux axes le mouvement élémentaire dont ils auraient dû être animés pendant ce temps, et on aura le vecteur définitif u'' :

$$u'' = u' + V(\omega u')dt + \frac{dV(\omega u')}{dt}\frac{dt^2}{2} + \dots$$

Dans cette expression substituons à u' sa valeur, mais en n'écrivant que les termes qui ne sont pas d'un ordre de petitesse supérieur au second :

$$\begin{aligned} u'' = u &+ v_1 dt + w_1 \frac{dt^2}{2} \\ &+ V(\omega u)dt + V(\omega v_1)dt^2 + \dots \\ &+ \frac{dV(\omega u)}{dt}\frac{dt^2}{2} + \dots \end{aligned}$$

Nous aurons alors la vitesse et l'accélération absolues en prenant les coefficients de dt et dt^2 :

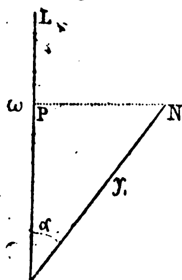
$$\begin{aligned} v &= v_1 + V(\omega u), \\ w &= w_1 + 2V(\omega v_1) + \frac{dV(\omega u)}{dt}, \end{aligned}$$

ou bien, d'après les égalités (1),

$$\begin{aligned} v &= v_1 + v_2, \\ w &= w_1 + 2V(\omega v_1) + w_2. \end{aligned}$$

Donc : 1° la vitesse absolue est la somme, *c'est-à-dire la résultante* de la vitesse relative et de la vitesse d'entraînement;

Fig. 10.



2° L'accélération absolue est la somme, *c'est-à-dire la résultante* de l'accélération relative, de l'accélération d'entraînement et du double d'une troisième accélération, appelée accélération centrifuge composée. La valeur de cette dernière s'obtient comme il suit: Soit ON (*fig.* 10) le vecteur v_1 qui représente la vitesse relative, et ON l'axe instantané de rotation. Soient $\overline{\omega}$ et $\overline{v_1}$ les modules de ω et de v_1. $V(\omega v_1)$ sera un vecteur perpendi-

culaire au plan NOL et situé en avant, de façon à amener ω vers v_1 dans le sens direct, et son module sera $\overline{\omega v_1} \sin \alpha = \omega \cdot \text{NP}$, ce qui est la règle bien connue.

Application de la théorie des quaternions à la physique mathématique.

Dans son traité *Electricity and Magnetism*, Maxwell représente par un vecteur toute quantité susceptible à la fois de grandeur et de direction, par exemple, un flux de chaleur ou d'électricité à travers une surface; il fait usage pour ce symbolisme d'une lettre gothique. De cette façon, au lieu de trois notations nécessaires pour représenter les trois composantes de la quantité considérée, on n'en a qu'une seule sur laquelle on opère d'après les règles précédemment exposées. On arrive ainsi à une équation unique, qu'il suffit de décomposer en trois autres pour retomber dans l'analyse ordinaire.

Généralement, l'emploi que Maxwell fait des quaternions est assez restreint, et, la plupart du temps, il n'a même pas eu besoin de recourir aux relations qu'Hamilton a supposé exister entre les trois unités i, j, k. En voici cependant une application très intéressante.

On sait que les composantes des forces naturelles par rapport à trois axes sont les dérivées partielles $\frac{dP}{dx}$, $\frac{dP}{dy}$, $\frac{dP}{dz}$ d'une même fonction P.

Il est donc naturel de considérer le vecteur :

$$i\frac{dP}{dx} + j\frac{dP}{dy} + k\frac{dP}{dz}.$$

Maxwell l'écrit de la façon suivante :

$$\left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)P.$$

Il donne à cette parenthèse symbolique le nom d'*opérateur* et la représente par ∇, en sorte que la force considérée est représentée par le vecteur ∇P.

Tait a remarqué qu'en appliquant une fois de plus l'opération représentée par ∇, on a, en posant $\nabla\nabla P = \nabla^2 P$,

$$\nabla^2 P = \left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)\left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)P,$$

et l'on peut écrire symboliquement :

$$\nabla^2 P = \left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)^2 P.$$

On fera le calcul de ce carré comme celui du carré d'un vecteur, mais on remplacera les puissances par des indices de dérivation. On trouvera donc :

$$\nabla^2 P = -\left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}\right)P.$$

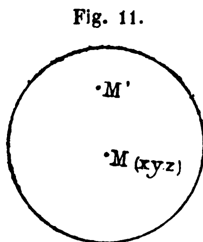
Quand un transport de chaleur ou d'électricité est arrivé à un régime permanent, on a :

$$\nabla^2 P = 0.$$

Maxwell convient d'appeler la fonction $\nabla^2 P$ la concentration de la fonction P. Voici la raison de cette dénomination.

Considérons (*fig.* 11) un point M(x, y, z) et autour de ce point une sphère de rayon ρ. La valeur de la fonction P y est variable ; soit P′ sa valeur en un point M′ voisin de M. Considérons en M′ un élément de volume ω ; le quotient

Fig. 11.



$$\frac{\int P'\omega}{\frac{4}{3}\pi\rho^3} = \text{moyenne de P}$$

est la moyenne des valeurs que prend P′ dans la sphère. Nous allons montrer que $\nabla^2 P$ est l'écart entre la valeur de P au point M et la moyenne de P.

Soient $x+h$, $y+k$, $z+l$ les coordonnées de M. On aura :

$$P' = P + h\frac{dP}{dx} + k\frac{dP}{dy} + l\frac{dP}{dz}$$
$$+ \frac{1}{2}\left[h^2\frac{d^2P}{dx^2} + \dots + 2kl\frac{d^2P}{dy\,dz} + \dots\right] + \dots$$

Calculons $\int P'\omega$ pour tous les points de la sphère.

Le premier terme $\int P\omega$ donnera $\frac{4}{3}\pi\rho^3 P$.

On aura ensuite :

$$\int h\frac{dP}{dx}\omega + \int k\frac{dP}{dy}\omega + \int l\frac{dP}{dz}\omega,$$

dont chaque terme sera nul séparément, car à tout élément $h\frac{dP}{dx}\omega$ en correspond un autre $-h\frac{dP}{dx}\omega$ égal et de signe contraire.

Pour la même raison, les termes :

$$\int kl\frac{d^2P}{dy\,dz}\omega, \quad \int lh\frac{d^2P}{dz\,dx}\omega, \quad \int hk\frac{d^2P}{dx\,dy}\omega$$

sont nuls. Restent enfin les termes :

$$\frac{1}{2}\frac{d^2P}{dx^2}\int h^2\omega + \frac{1}{2}\frac{d^2P}{dy^2}\int k^2\omega + \frac{1}{2}\int\frac{d^2P}{dz^2}\int l^2\omega,$$

où les coefficients sont égaux entre eux :

$$\frac{1}{2}\int h^2\omega = \frac{1}{2}\int k^2\omega = \frac{1}{2}\int l^2\omega = \frac{1}{6}\int (h^2+k^2+l^2)\omega = \frac{1}{2}\int r^2\omega.$$

Or $\int r^2\omega$ peut se calculer en décomposant la sphère en sphères concentriques et adoptant pour ω le volume comprise entre deux sphères infiniment voisines :

$$\omega = 4\pi r^2 \cdot dr,$$
$$\int r^2\omega = 4\pi\int_0^\rho r^4\,dr = \frac{4\pi}{5}\rho^5.$$

On a donc, en somme,

$$\int P'\omega = \frac{4}{3}\pi\rho^3 P + \frac{4\pi}{30}\rho^5\left(\frac{d^2P}{dx^2} + \frac{d^2P}{dy^2} + \frac{d^2P}{dz^2}\right),$$

ou

$$\int P'\omega = \frac{4}{3}\pi\rho^3 P - \frac{4\pi}{30}\rho^5\nabla^2 P.$$

Par suite :

$$\text{moyenne de } P = \frac{\frac{4}{3}\pi\rho^3 P - \frac{4\pi}{30}\rho^5\nabla^2 P}{\frac{4}{3}\pi\rho^3}.$$

ou

$$\text{moyenne de } P = P - \frac{1}{10}\rho^2\nabla^2 P,$$

$$P - \text{moyenne de } P = \frac{1}{10}\rho^2\nabla^2 P,$$

ce qui établit bien la proportionnalité énoncée.

En France, on a conservé à la fonction

$$+\left(\frac{d^2P}{dx^2} + \frac{d^2P}{dy^2} + \frac{d^2P}{dz^2}\right) = -\nabla^2 P.$$

Le nom de paramètre différentiel du second ordre de la fonction P, que Lamé lui a donné.

Dans le cas où l'opérateur est appliqué à un vecteur $iX + jY + kZ$, on fait le produit

$$\left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)(iX + jY + kZ),$$

d'après la règle du produit de deux vecteurs, mais on remplace le produit de $\frac{d}{dx}$,... par une fonction, par la dérivée de cette fonction. On obtiendra ainsi l'expression :

$$-\left(\frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz}\right) + i\left(\frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz}\right) + j\left(\frac{dX}{dz} - \frac{dZ}{dx}\right)$$
$$+ k\left(\frac{dY}{dx} - \frac{dX}{dy}\right).$$

APPLICATION

DE

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE A L'ÉCLAIRAGE

DES BUREAUX DE POSTE ET DE TÉLÉGRAPHE

(Extrait d'un rapport de M. Caël,
Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques.)

ÉCLAIRAGE DU BUREAU TÉLÉGRAPHIQUE DE LA GARE DU NORD A BRUXELLES.

L'application de l'éclairage électrique aux salles d'appareils du bureau télégraphique de la gare du Nord, à Bruxelles, remonte à plus d'une année.

Voici dans quelles conditions la lumière est produite et utilisée.

Moteur, sa consommation. — Le moteur est une machine à gaz du système Otto, de la force de 8 chevaux, pouvant en produire 10 au besoin. Sa dépense est de 6 mètres cubes de gaz à l'heure, soit, à raison de $0^f,15$ le mètre, $0^f,90$. Il y faut ajouter le salaire du mécanicien chargé de l'entretenir et de la surveiller, $0^f,80$ par heure de travail.

Machine magnéto-électrique. — La source électrique est la machine Gramme type d'atelier, c'est-à-dire à deux barres d'électro-aimant avec un seul anneau central. Elle fonctionne avec une vitesse de 900 tours par minute et absorbe de 2 à $2^{chevaux},5$ vapeur. Elle est à courant

continu et produit un arc voltaïque à peu près silencieux.

Il faut une machine pour chaque régulateur.

Régulateur. — Le régulateur employé est la lampe Jaspar, à contrepoids, et avec solénoïde traversé par le courant de la source, et actionné lorsque les charbons trop écartés donnent à l'arc une résistance trop considérable. Le solénoïde agit alors par attraction et par l'intermédiaire d'un système de rouages, pour rapprocher les deux électrodes, dont la distance normale est de 3 à 4 millimètres.

La lampe Jaspar consomme de 4 à 5 centimètres de charbon à l'heure, et peut fonctionner pendant cinq à six heures avec les mêmes crayons.

Le remplacement des électrodes dure deux minutes et demie pendant lesquelles la lampe est éteinte; mais comme l'opération s'impose une fois au plus dans le cours d'une soirée, elle ne présente aucun inconvénient sérieux pour le service.

Trois foyers lumineux éclairent les deux salles d'appareils de la gare du Nord; l'un est installé dans une salle qui mesure 97 mètres carrés avec une hauteur de plafond de $3^m,88$, deux autres dans la pièce principale dont la superficie est de 195 mètres carrés et la hauteur de $3^m,88$ (*).

Chaque lampe est placée sur une colonne haute de $2^m,25$; l'arc voltaïque est à 2 mètres environ du sol; il est entouré d'un chapeau cylindroconique opaque, qui

(*) Le moteur Otto fait mouvoir les trois machines Gramme qui desservent les trois lampes. Dans le même local est monté un autre moteur identique; il actionne les trois machines de trois autres lampes qui éclairent la place des Nations située devant la gare et dont la surface est d'environ 6.000 mètres carrés.

réfléchit les rayons sur le plafond et sur un miroir horizontal fixé sur le chapiteau de la colonne.

Un espace vide de 0m,10 sépare ce miroir de l'écran et laisse passer la lumière diffuse, sans permettre d'apercevoir l'arc voltaïque d'aucun des points de la salle.

C'est principalement par le plafond que les salles sont éclairées ; il reçoit les rayons lumineux directement ou réfléchis sur une superficie d'environ 9 mètres carrés; on pourrait peut-être obtenir un effet plus complet avec un écran plus ouvert, qui laisserait tomber les rayons lumineux jusqu'au bord du miroir.

La disposition adoptée à Bruxelles, bien qu'un peu rudimentaire et susceptible de sérieuses améliorations, donne des résultats satisfaisants. La lumière est fixe ou du moins les éclats sont à peine sensibles, quoique assez peu intense, elle ne fatigue pas la vue, lorsque l'œil y est un peu accoutumé; l'ombre portée est à peine visible, de sorte que les employés peuvent transmettre et lire dans toutes les positions par rapport au foyer.

On a utilisé la lampe placée dans la plus petite salle pour éclairer par réflexion une pièce voisine qui en est séparée par une porte de dimension ordinaire. A cet effet son écran est percé d'ouvertures lenticulaires en face desquelles sont placés des petits miroirs mobiles autour de leurs supports. Deux d'entre eux servent à réfléchir deux faisceaux lumineux, l'un sur le mur de la pièce à éclairer, l'autre sur un miroir qui le renvoie sur une table de travail.

La lumière ainsi obtenue est grise et froide et ne peut être employée que dans des cas exceptionnels, par exemple lorsqu'il peut y avoir intérêt à éclairer vivement certains objets, tels que commutateurs, pendules, cartes des fils, etc.; dans cet ordre d'idées, la disposition adoptée

à Bruxelles paraît une solution très simple de la question.

Pouvoir éclairant de la lampe Jaspar. — La lumière du régulateur Jaspar équivaut à celle de 1.670 bougies ou 240 Carcel; mais comme on ne l'emploie qu'à l'état diffus par simple ou double réflexion, on n'en utilise au plus que 40 ou 50 p. 100.

En fait, les trois foyers en activité ne remplacent que 70 becs de gaz, mais il ne faut pas oublier qu'ils illuminent presque uniformément une capacité de plus de 105 mètres cubes, tandis que la lumière de chaque bec de gaz est concentrée sur un espace assez restreint, au delà duquel les objets sont relativement obscurs. En surface chaque lampe Jaspar éclaire 97 mètres carrés dans l'une des salles et 75 mètres carrés seulement dans l'autre; aussi, dans celle-ci, la lumière est-elle sensiblement plus intense et d'un meilleur effet. Nous estimons donc qu'il conviendrait de prendre pour unité du régulateur Jaspar une superficie de 70 mètres carrés au plus, pour des salles dont la hauteur varierait de 3 à 5 mètres.

Prix de revient de la lumière Jaspar. — Trois foyers électriques coûtent par heure 3f,82, y compris l'amortissement du capital de premier établissement, compté à raison de 10 p. 100.

Un calcul établi sur les mêmes bases donne pour les 70 becs de gaz une dépense de 1f,90. Nous devons dire que l'administration belge ne paye le gaz que 0f,15 le mètre cube, et que, d'autre part, on réaliserait une économie sérieuse (0f,70 par heure au moins) si au lieu d'un moteur Otto on employait une machine à vapeur.

Il n'est pas douteux, en outre, que le prix de revient de la lumière électrique par foyer est d'autant moindre que le nombre des foyers est plus considérable. L'égalité

tend à s'établir entre les dépenses des deux systèmes d'éclairage, et la comparaison est en faveur de l'électricité lorsqu'on a gratuitement la force motrice à sa disposition.

Étant admis que l'on fît usage d'un moteur à vapeur et qu'une lampe n'éclairât pas plus de 70 mètres carrés, le système Jaspar, appliqué à l'éclairage de la salle réservée aux femmes dans les nouveaux bâtiments de la rue de Grenelle, et dont la superficie est de 520 mètres carrés, nécessiterait sept foyers et coûterait par heure environ 8f,90.

Avec le gaz il faudrait 120 becs consommant chacun 240 litres. La dépense serait donc par heure de 28.800 litres, soit 8f,64.

La grande salle de départ de la Poste au Carrousel mesure 2.000 mètres carrés. Elle exigerait 29 lampes; en raison de leur nombre, le prix de revient de chacune d'elles serait sensiblement diminué et pourrait être évalué à 0f,80 au maximum; la dépense horaire serait donc réduite à 23f,20. Cette pièce est éclairée aujourd'hui par 243 becs de gaz brûlant chacun 300 litres, soit en totalité 73 mètres cubes à l'heure, valant 21f,90; mais ici le nombre des becs est peu considérable eu égard à l'étendue de la salle, et bien des points y restent dans une obscurité relative.

Quoi qu'il en soit, le régulateur Jaspar, en dehors de toute considération de dépense, nous semble donner déjà une solution très acceptable du problème.

APPLICATIONS DIVERSES DE L'ÉLECTRICITÉ.

Machines et régulateur Lontin. — L'éclairage par le système Lontin est appliqué à la halle des marchandises

de la gare de Lyon, à Paris, depuis plus de deux ans.

Le régulateur est du type Serrin, modifié par M. de Mersanne. Le mouvement des charbons est produit par deux électro-aimants qu'actionne le courant de la machine lorsque l'arc voltaïque offre à son passage direct une résistance trop grande due à la distance anormale des électrodes; elle fonctionne néanmoins, me dit-on, avec toute régularité.

L'arc est produit par des courants alternatifs, dont la source est une machine magnéto-électrique, à aimants excités par le courant continu d'une seule machine; elle alimente dix-huit foyers qui absorbent environ 18 chevaux.

Ces foyers sont groupés trois par trois dans six circuits distincts.

Le charbon des électrodes est de la fabrication de la maison Carré; c'est un cylindre de 0m,008 de diamètre; chaque foyer en consomme 5 centimètres par heure.

Avec les dispositions imaginées par M. de Mersanne, les électrodes sont horizontales, et chaque crayon a une longueur de 0m,50, pouvant ainsi faire dix heures de service.

La lumière, sans être absolument fixe, ne fatigue pas la vue.

Les dix-huit foyers en activité remplacent 250 becs de gaz, avec avantage, au dire des agents intéressés.

La société Lontin évalue le prix de revient de chacun d'eux à 0f,346 par heure, y compris l'amortissement à 10 p. 100 du capital de premier établissement; elle fait payer 0f,50 à la compagnie de Lyon; pour celle-ci le gaz est au prix de 0,195 le mètre cube, et comme chaque bec n'en consomme pas plus de 140 litres à l'heure, les 250 flammes lui coûtent 6f,22 contre 9 francs qu'elle

donne pour son éclairage électrique. Chacune des lampes établies à la halle de la gare de Lyon remplace 14 becs de gaz. Cette proportion ne saurait être gardée s'il s'agissait d'éclairer des salles de travail postal ou télégraphique, et l'économie de 50 p. 100 que la société Lontin offre de réaliser me semble bien problématique.

Prenons pour exemple la grande salle de départ de la place du Carrousel dont nous avons déjà parlé. Nous n'estimons pas à moins de 30 le nombre de becs qu'il faudrait pour l'éclairer suffisamment et sans ombre portée, par lumière diffuse ou tamisée au moyen de verres dépolis (grâce à la hauteur de la toiture on pourrait sans doute adopter ce dernier système qui n'enlève guère que 40 p. 100 de l'éclat de l'arc). La société fournirait la lumière à raison de 0f,60 par foyer et par heure, soit 18 francs pour les 30 foyers.

Les 243 becs de gaz actuellement en usage consomment $243 \times 300 = 72.900$ litres par heure. Le mètre cube coûtant à l'État 0f,30, c'est une dépense de 21f,87 à laquelle il convient d'ajouter environ 0f,40 pour dégrèvement du capital de premier établissement.

Nous ne pensons pas toutefois qu'il faille compter, par l'emploi de la lumière électrique, sur une économie aussi notable, car il n'est pas prouvé que les 30 foyers suffiraient et qu'il ne faudrait pas les porter à 36.

En tous cas nous avons tout lieu de croire qu'il n'en résulterait aucune aggravation de charge pour l'État, et nous sommes d'avis qu'il y a intérêt d'essayer ce mode d'éclairage, en raison de ses avantages hygiéniques incontestables.

Lampe Clerc dite lampe-soleil. — La lampe imaginée par M. Clerc est dérivée de la bougie Jablochkoff, dont elle diffère essentiellement en ce sens que la matière iso-

lante ne se consomme pas ou presque pas. Les charbons sont logés sans frottement dans deux trous pratiqués dans un bloc de carbonate de chaux (marbre ordinaire) et qui débouchent dans une espèce de chambre ou cavité inférieure, à une distance de 7 à 8 millimètres en se rétrécissant assez pour que les électrodes n'y pénètrent pas.

C'est entre ces trous que jaillit l'étincelle électrique à courants alternatifs.

Les charbons descendent par leur propre poids, sans réglage, à mesure qu'ils sont brûlés; leur consommation est de 0,01 par heure.

Le bloc de marbre formé de plusieurs morceaux jointifs est serré dans une sorte de gaine en fer.

Comme on le voit cette lampe est on ne peut plus simple, et son prix de revient est presque insignifiant. Au dire de l'inventeur, chaque foyer ne coûterait par heure que $0^{f},10$ à l'industriel, et de $0^{f},25$ à $0^{f},25$ aux particuliers.

Mais en raison de l'étendue de l'arc, il faut pour l'allumer, l'amorcer en interposant entre les électrodes un petit crayon de charbon qui brûle lorsque l'on fait passer le courant; elle exige en outre de l'électricité à tension assez haute, surtout lorsque le circuit extérieur présente quelque résistance.

Il nous a été donné d'assister à l'essai d'une de ces lampes : sa lumière est d'une fixité remarquable, légèrement dorée, ce qui la rend agréable à l'œil; l'arc jaillissant à la base du bloc isolant, elle se projette tout entière de haut en bas et laisse dès lors dans l'obscurité les parois supérieures des bâtiments.

Lorsque cette lampe, encore peu connue, aura reçu les améliorations que son inventeur se propose d'y apporter, nous la croyons susceptible d'utiles applications.

Régulateur Siémens. — Le régulateur Siémens est à mouvement d'horlogerie actionné par un solénoïde que traverse le courant producteur de la lumière lorsque l'arc voltaïque lui oppose une résistance anormale.

Douze lampes de ce système fonctionnent à l'Eden-Théâtre de Bruxelles.

Deux d'entre elles en éclairent l'entrée; les dix autres, divisées en deux groupes, illuminent deux jardins servant de salles de café, et mesurant chacun 300 mètres carrés environ. Chaque foyer forme un lustre élégant cloisonné par des vers dépolis qui en adoucissent l'éclat, et répand une grande clarté agréable à l'œil.

Nous nous bornons à donner un aperçu des moyens d'éclairage électrique qui nous ont paru susceptibles de remplacer le gaz dans certaines circonstances spéciales. Nous avons laissé à dessein de côté bien des procédés qui rempliraient peut-être bien le même but, mais que nous n'avons pu juger à l'essai. L'exposition d'électricité qui se prépare et nous ménage des surprises de toute sorte, permettra de comparer en toute connaissance de cause les nombreux systèmes réalisés jusqu'ici, et de se former ainsi une opinion autorisée sur leur valeur intrinsèque et relative.

NOTE SUR LES PERTURBATIONS

QU'ÉPROUVE

LA TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE

Les téléphones sont des instruments tellement sensibles, que la transmission téléphonique est soumise, surtout lorsqu'elle a lieu au moyen d'un seul fil conducteur, à des perturbations de natures diverses, qui sont sans influence sur les appareils ordinaires. Nous allons passer rapidement en revue ces perturbations, qui ont principalement pour origines la résistance qu'offre le sol au passage du courant, les dérivations, l'induction électrostatique et l'induction électro-dynamique entre les divers conducteurs d'une même ligne.

Communications avec la terre. — La communication avec le sol offre toujours une certaine résistance, qui atteint en général 20 à 30 ohms.

Si donc un conducteur téléphonique et des conducteurs desservis par des appareils ordinaires aboutissent au même fil de terre, une partie du courant qui passe de ces derniers conducteurs à la terre traverse le premier et fait fonctionner le téléphone. Il en résulte un bruit qui permet de saisir aisément au son les transmissions échangées par les appareils qui desservent les autres fils lorsque les appareils employés sont à signaux indépendants, comme l'appareil Morse.

Si le poste dessert un grand nombre de conducteurs, on n'entend dans le téléphone qu'un bourdonnement confus, connu sous le nom de *friture*, dominé parfois par les sons qui résultent de la marche des appareils que desservent les piles très intenses. On reconnaît ainsi fa-

cilement, mais sans pouvoir les comprendre, les transmissions qui ont lieu au moyen des appareils Hughes. Ces bruits n'empêchent pas complètement la transmission téléphonique, mais ils la rendent fatigante.

Pour se mettre à l'abri de cette cause de perturbation, il est nécessaire d'avoir pour les communications téléphoniques des fils de terre spéciaux, et, même dans ces conditions, les bruits étrangers ne cessent d'être entendus que si les fils de terre plongent dans le sol à une grande distance des bureaux télégraphiques ordinaires.

Le même trouble se produit, bien qu'il soit moins sensible, lorsque tous les fils qui aboutissent à un bureau desservent des téléphones et ont un fil de terre commun.

On peut se mettre complètement à l'abri des perturbations dues au fil de terre, en le supprimant et en composant les lignes téléphoniques de deux conducteurs, un pour l'aller et l'autre pour le retour.

Dérivations. — Les dérivations d'un fil à l'autre d'une même ligne ont aussi une influence nuisible sur les transmissions téléphoniques. Ces dérivations sont à peu près nulles sur les fils souterrains; mais sur les lignes aériennes à plusieurs conducteurs, même les mieux établies, elles sont très sensibles. Elles ont peu d'influence lorsque tous les fils d'une même ligne desservent des téléphones; mais si un ou plusieurs d'entre eux servent aux transmissions ordinaires, qui comportent l'emploi de piles plus ou moins énergiques, il en résulte des troubles qu'il est difficile d'éviter complètement, même en employant pour les transmissions téléphoniques deux fils spéciaux, car il est rare qu'ils puissent se trouver dans toute l'étendue du parcours dans des conditions absolument identiques par rapport aux conducteurs ordinaires.

Les effets de mélange qui se produisent par les dérivations n'ont pas été étudiés d'une façon spéciale ; ils se confondent du reste avec les actions inductrices qui paraissent avoir une plus grande influence.

Induction électro-statique. — Un conducteur en communication avec le pôle d'une pile prend une charge électro-statique qui se porte à sa surface et dont le potentiel varie avec l'éloignement de la source électrique. Cette charge agit sur les conducteurs voisins en produisant une charge d'électricité contraire qui s'écoule aussitôt que l'envoi du courant cesse. Il en résulte, dans ces derniers, un mouvement électrique, faible, il est vrai, mais qui peut avoir une influence sur les récepteurs téléphoniques.

On peut éviter cette action en employant pour la transmission deux fils conducteurs, à la condition, toutefois, qu'ils se trouvent placés de la même manière par rapport au fil dont on veut éviter l'influence.

Pour les fils souterrains, on peut faire disparaître les effets de l'induction électro-statique en entourant l'enveloppe isolante de chacun d'eux d'une gaine métallique.

Les câbles télégraphiques de MM. Borel, Berthoud et Ce remplissent ces conditions; voici la description de ces câbles (*) :

Le conducteur en cuivre est entouré de trois couches de coton; le tissage du coton terminé, le fil est plongé pendant une heure dans un bain de paraffine à une température de 180°. On le débarrasse ainsi de l'humidité et de l'air qui se trouvent dans le coton, lequel s'imprègne de paraffine. Ensuite le câble est passé sous une presse qui le recouvre d'un tuyau de plomb, les

(*) *Journal télégraphique* de Berne, 25 décembre 1880.

nterstices entre le plomb et le câble étant remplis hermétiquement au moyen de colophane.

Les conducteurs ainsi formés sont réunis de façon à former des câbles de cinq ou sept fils.

Le manchon en plomb qui entoure chacun des conducteurs sert de fil de retour.

Induction électro-magnétique. — C'est l'induction électro-magnétique entre les fils qui est la cause principale des troubles qu'éprouvent souvent les transmissions téléphoniques.

Lorsqu'un conducteur est desservi par des appareils ordinaires, et conséquemment par des piles relativement assez fortes, et qu'un conducteur voisin sert aux transmissions téléphoniques, l'induction agit sur ce dernier non seulement lorsque les deux fils sont aériens et sont placés sur les mêmes appuis, mais encore lorsqu'ils sont situés sur des lignes différentes qui suivent un même trajet sur une partie du parcours.

L'induction se manifeste également sur les fils souterrains lorsqu'ils sont situés dans un même câble et, à un degré un peu moindre, lorsqu'ils sont situés dans des câbles différents.

Quand les fils parallèles sont tous desservis par des téléphones, l'induction est moindre, mais elle n'en produit pas moins des perturbations, et quelquefois on entend par les appareils qui desservent un conducteur les transmissions échangées par un conducteur voisin.

M. Hughes a cherché à éliminer les effets d'induction par la méthode suivante : « Considérons deux lignes conductrices droites et parallèles; un courant commençant dans la première donnera, dans la seconde, un courant induit de sens contraire, dont l'intensité croîtra avec celle du courant primaire et la longueur des lignes,

et diminuera quand leur distance sera plus grande. A l'origine de ces deux lignes, imaginons que les fils soient enroulés sur eux-mêmes et forment des bobines plates parallèles l'une à l'autre; si ces bobines sont de même sens, l'effet de l'induction sera de même sens que celui qui provient des lignes droites et s'y ajoutera; mais si elles sont de sens contraire, le phénomène changera, la bobine primaire engendrera dans la bobine secondaire un courant induit qui sera de sens inverse à celui que produisent les parties droites. En sorte que le courant, passant dans l'ensemble de la première ligne, fera naître à la fois dans la seconde deux courants induits de sens contraire, dont la différence seule subsistera. Si l'on s'est arrangé pour que ces courants soient égaux, l'induction sera compensée et annulée. Or cela est très réalisable. On proportionnera les longueurs des bobines à celle des lignes; elles seront par exemple de 1 mètre par kilomètre. Alors, plaçant dans le premier circuit un microphone avec une montre, on mettra un téléphone dans l'autre, et l'on rapprochera les bobines jusqu'à ce que le battement de la montre ne soit plus entendu. A ce point, ces lignes sont compensées; elles ne s'induisent plus, ou, pour mieux dire, leurs inductions s'annulent par eux-mêmes. »

Cette méthode ne peut être appliquée que lorsque le nombre des fils voisins est réduit à deux.

Pour les lignes souterraines, une enveloppe conductrice d'un métal non magnétique, d'étain par exemple, ne fait pas disparaître l'influence électro-magnétique. Ainsi le battement d'une montre transmis par un téléphone à travers un fil s'entend par les fils voisins, alors même que les deux conducteurs sont séparés par une couche d'étain, bien que le son soit un peu amorti par

les courants induits qui se produisent dans cette enveloppe.

M. Preece a proposé, pour annuler les effets de l'induction électro-magnétique, d'entourer les conducteurs isolés d'une enveloppe en fer faisant office d'écran.

MM. Berthoud, Borel et Cie construisent des câbles qui remplissent cette condition.

Lorsque les conducteurs ne sont pas entourés d'une enveloppe en fer, le procédé le plus satisfaisant pour éviter l'induction consiste à employer deux fils très rapprochés l'un de l'autre pour la transmission, de façon qu'ils se trouvent situés l'un et l'autre de la même manière par rapport aux conducteurs environnants.

Causes diverses de troubles. — Il existe encore d'autres causes de troubles qui se manifestent surtout lorsque les conducteurs sont des fils de fer, et qui ont pour origine les variations qu'éprouve le magnétisme de ces conducteurs.

Ainsi M. Gaiffe a remarqué qu'en frottant l'un contre l'autre deux fils de fer en communication avec des téléphones, il se développe des courants qu'on perçoit facilement à l'aide de ces instruments et qui peuvent même produire des bruits énergiques. Les joints des fils de fer sur les lignes électriques aériennes peuvent, lorsqu'ils ne sont pas soudés, donner, par leurs vibrations, naissance à ces bruits.

Les vibrations communiquées à un fil de fer par le choc d'un marteau produisent des effets analogues qui sont beaucoup plus sensibles lorsque le fil est en acier et est aimanté ; le bruit est nul pour des conducteurs de cuivre et de laiton. Ces actions sont dues aux variations qu'éprouve, par l'effet du choc, le magnétisme du conducteur qui produit des courants induits, ou extra-courants.

NOUVELLE DÉTERMINATION

DU NOMBRE D'UNITÉS ÉLECTROSTATIQUES

CONTENUES

DANS UNE UNITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE.

Le rapport des unités électromagnétiques aux unités électrostatiques est une puissance égale à 1, —1, 2 ou —2, suivant les unités comparées, d'une vitesse v qui paraît identique à celle de la lumière. La grandeur du nombre v a été déterminée par plusieurs méthodes (voir le numéro de Novembre-Décembre 1879 des présentes *Annales*), qui ont conduit aux chiffres suivants, représentant des mètres par seconde.

v = 210.740.000 (MM. Weber et Kohlrausch),
= 298.000.000 (MM. Ayrton et Perry),
= 288.000.000 (M. Maxwell),
= 282.000.000 (M. William Thomson).

Une nouvelle détermination de la valeur de v a été effectuée au mois de juillet dernier dans le laboratoire de physique de Glascow par M. E. Shidar, de l'École impériale des ingénieurs du Japon.

La méthode employée consistait à mesurer en unités électrostatiques et en unités électromagnétiques la force électromotrice d'un élément Daniell à sable.

On commençait par mesurer à l'aide de l'électromètre absolu de M. Thomson la force électromotrice d'une pile de 80 éléments Daniell; puis, au moyen d'un appa-

reil électrométrique, on comparait cette pile à l'élément à sable. M. Shidar a été ainsi conduit, pour la force électromotrice absolue e de ce dernier, à la valeur $e = 0{,}003481$ (centimètre, masse du gramme, seconde).

La mesure électromagnétique de la force électromotrice de l'élément à sable a été effectuée au moyen d'une boussole de tangente, ayant un rayon moyen de 18cent.,2 et comprenant 400 tours de fil isolé. Cette force électromotrice était donnée par la formule

$$E = IR = AHR \tan \delta,$$

dans laquelle I est l'intensité du courant, R la résistance totale du circuit, H la composante horizontale du magnétisme terrestre et A la constante de l'instrument.

M. Shidar mesurait directement la composante horizontale du magnétisme terrestre par la durée des vibrations d'un aimant sous l'influence du magnétisme terrestre et par la déviation de l'aiguille d'un magnétomètre situé dans le plan du méridien magnétique, soumis à l'action du même aimant, ce dernier étant placé à une certaine distance sur une ligne horizontale passant par le centre de l'aiguille, et étant situé à angle droit par rapport au méridien. Le chiffre trouvé pour H a été 0,15947 (C. C. S.).

La constante de l'instrument dépend de ces dimensions et peut être déterminée directement. Dans le cas où le fil ne forme qu'un très petit nombre de tours situés dans le plan vertical passant par le centre de l'aiguille, sa valeur est $\frac{r}{2n\pi}$, n étant le nombre de tours et r leur rayon ; mais une correction doit être introduite lorsque les dimensions du cadre qui supporte le fil ne peuvent être négligées.

Quant au produit R tang δ, qui reste constant tant que la source électromotrice ne varie pas, on l'obtenait en mesurant d'abord, par les méthodes ordinaires, la résistance absolue de l'élément et des conducteurs fixes, puis en introduisant des résistances connues et en observant chaque fois la dérivation δ. La résistance était mesurée en ohms, en la multipliant par 10^9 on la transformait en unités absolues (C. G. S.).

On a trouvé par cette méthode, pour la force électromotrice de l'élément à sable, des nombres dont la moyenne a donné :

$$E = 1.001172 \times 10^8.$$

La valeur de v est égale au rapport $\frac{E}{e}$, ce qui conduit à $v = 294,4 \times 10^8$ cent. par seconde ou $v = 294400000$ mètres par seconde.

Cette méthode suppose, ainsi que le fait remarquer M. Shidar, que l'ohm représente exactement l'unité absolue de résistance $\frac{\text{mètres}}{\text{seconde}}$ multiplié par 10^7; or on sait qu'il existe encore quelques doutes sur l'approximation obtenue par la commission de l'Association scientifique.

PILE SECONDAIRE DE M. FAURE.

Il a beaucoup été question dans ces derniers temps d'une nouvelle pile de polarisation qui permet d'accumuler une énergie électrique considérable sous un faible volume, énergie qu'on pourrait à volonté employer à produire l'éclairage électrique, à faire marcher des moteurs, etc. Cette pile, imaginée par M. Camille Faure, dérive de la pile de polarisation de M. Planté.

On est encore loin d'être fixé sur les résultats pratiques qu'on peut attendre de la pile Faure, sur laquelle nous aurons occasion de revenir. Nous nous bornerons pour le moment à reproduire les deux communications faites à l'Académie des sciences, au nom de M. Faure, par M. Reynier, les 18 avril et 9 mai 1881, et une note de M. Jamin, insérée dans le numéro des *Comptes rendus* du 2 mai 1881, sur l'emploi des piles et des machines électromagnétiques à courant continu pour l'éclairage électrique.

I

Sur la pile secondaire de M. C. Faure.

Note de M. Reynier.

Les belles recherches de M. Gaston Planté, sur la polarisation des voltamètres, ont conduit ce savant physicien à l'invention des couples secondaires à lames de plomb, devenus classiques; ces couples accumulent et *emmagasinent*, pour ainsi dire, l'électricité produite par

un électromoteur quelconque. On sait que M. Planté est parvenu à donner à ses couples une capacité d'emmagasinement assez grande, au moyen de charges et de décharges successives opérées méthodiquement, ce travail de *formation* ayant pour effet « de développer à la surface du plomb, et jusqu'à une certaine profondeur dans « l'épaisseur des lames, des couches d'oxyde et de métal « réduit, dont l'état de division est favorable au développement du courant secondaire. »

Un couple Planté de $0^{mq},50$ de surface, convenablement *formé*, peut emmagasiner une quantité d'énergie électrochimique capable de rougir, pendant dix minutes, un fil de platine de $0^{m},001$ de diamètre sur $0^{m},08$ de longueur.

Ces résultats importants ont reçu diverses applications pratiques; c'est surtout pour les recherches scientifiques qne M. Planté s'est appliqué à en tirer parti. Par la décharge en *tension* d'un grand nombre de couples secondaires, préalablement chargés en *quantité*, il est parvenu à obtenir des tensions électriques très élevées, qu'il a encore accrues à l'aide de sa machine rhéostatique.

Pendant que la pile Planté prenait ainsi dans les laboratoires une place de plus en plus importante, quelques ingénieurs voyaient en elle la solution générale du transport et de la distribution de l'électricité, et par conséquent de l'énergie sous toutes ses formes : force, chaleur, lumière, énergie chimique, etc. Mais, pour obtenir ces résultats, il fallait donner à l'appareil une plus grande capacité d'emmagasinement, avec un poids et un volume moindres.

Les essais infructueux tentés dans ce but par divers électriciens avaient mis en relief les difficultés du problème. La solution semblait donc renvoyée à une date

lointaine, quand M. Faure est venu apporter d'importants perfectionnements, qui permettent d'établir l'accumulation industrielle de l'électricité.

La pile secondaire de M. Faure dérive directement de la pile Planté; ses électrodes sont en plomb et plongent dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique; mais sa *formation* est plus profonde et plus rapide. Dans la pile de M. Planté, la formation est limitée par l'épaisseur des lames de plomb. M. Faure donne rapidement à ses couples un pouvoir d'accumulation presque illimité, en recouvrant les électrodes d'une couche de plomb spongieux, formée et retenue de la manière suivante.

Les deux lames de plomb du couple sont individuellement recouvertes de minium ou d'un autre oxyde de plomb insoluble, puis entourées d'un cloisonnement en feutre, solidement retenu par des rivets de plomb; ces deux électrodes sont ensuite placées, l'une près de l'autre, dans un récipient contenant de l'eau acidulée. Si elles sont d'une grande longueur, on les roule en spirale, comme l'a fait M. Planté. Le couple étant ainsi monté, il suffit, pour le former, de le faire traverser par un courant électrique, qui amène le minium à l'état de peroxyde sur l'électrode positive et à l'état de plomb réduit sur l'électrode négative. Dès que toute la masse a été électrolysée, le couple est formé et chargé.

Quand on le décharge, le plomb réduit s'oxyde et le plomb peroxydé se réduit, jusqu'à ce que le couple soit redevenu inerte. Il est alors prêt à recevoir une nouvelle charge d'électricité.

Pratiquement, on peut emmagasiner ainsi une quantité d'énergie capable de fournir un travail extérieur de 1 cheval-vapeur pendant une heure, dans une pile Faure de 75 kilogrammes. Des calculs, basés sur les données

de la thermochimie, nous démontrent que ce poids pourra être beaucoup diminué.

Le *rendement* de la pile secondaire de M. Faure peut, dans certaines conditions, atteindre 80 pour 100 du travail dépensé pour la charger. Dans une prochaine note, je montrerai que ce rendement, élevé d'ailleurs, constaté par des expériences précises, est en parfait accord avec la théorie.

Quant aux résultats industriels considérables que nous promet, à bref délai, l'accumulateur d'électricité de M. Camille Faure, nous n'en parlerons ici que pour en rapporter en grande partie le mérite aux travaux persévérants et désintéressés de M. Planté, qui ont été le point de départ de l'invention soumise aujourd'hui à l'Académie.

II

Sur le rendement des piles secondaires.

Note de M. Reynier.

Le travail par piles secondaires comprend deux phases : la *charge* de l'accumulateur par l'action d'une source électrique extérieure, et sa *décharge* dans le circuit exploité. Chacune de ces opérations comporte une perte. Nous allons chercher l'expression du rendement.

Supposons d'abord que le travail à obtenir consiste en une production de chaleur dans une résistance fixe, une lampe à incandescence par exemple.

Nous avons à considérer :

E_0 la force électromotrice *initiale* de la source;
R_0 sa résistance;
E la force électromotrice de la pile secondaire;
R sa résistance;
E_1 la différence de potentiel aux deux extrémités du conducteur exploité;

R_1 la résistance de ce conducteur;
t le temps de la charge;
t_1 le temps de la décharge.

Le travail T_0 dépensé pour *charger* sera (en supposant constant le régime de charge),

$$(1) \qquad T_0 = E_0 \frac{E_0 - E}{R_0 + R} t.$$

Le travail T *utilisé* dans la résistance exploitée sera

$$(2) \qquad T = \frac{E_1^2}{R + R_1} t_1.$$

Pour trouver le rapport de ces deux travaux, il faut exprimer t_1 en fonction de t. On y parvient en considérant que la quantité d'électricité Q est la même dans les circuits de charge et de décharge (*), et que cette quantité est proportionnelle aux produits des intensités des courants par les temps, d'où l'équation

$$\frac{E_0 - E}{R_0 + R} t = Q = \frac{E_1}{R + R_1} t_1,$$

d'où

$$(3) \qquad t_1 = \frac{t \dfrac{E_0 - E}{R_0 + R}}{\dfrac{E}{R + R_1}}.$$

En substituant à t_1 sa valeur dans l'expression (2), cette expression devient

$$(4) \qquad T = \frac{\dfrac{E_1^2}{R + R_1} \dfrac{E_0 - E}{R_0 + R} t}{\dfrac{E_1}{R + R_1}} = E_1 \frac{E_0 - E}{R_0 + R} t,$$

d'où le rendement

$$(5) \qquad \varphi = \frac{T}{T_0} = \frac{E_1}{E_0}.$$

(*) Au point de vue pratique, ce fait réclame une vérification expérimentale.

Le rendement est donc exprimé par le rapport entre la différence de potentiel aux deux bouts de la résistance exploitée et la force électromotrice initiale de la source d'électricité; il est indépendant des résistances et des valeurs des temps de charge et de décharge.

J'ai supposé que le travail à produire était l'échauffement d'une résistance; si le courant de décharge travaillait dans un circuit qui fût le siège d'une force électromotrice, dans un moteur électrique par exemple, l'expression du rendement ne serait pas altérée. Mais il ne faudrait pas prendre pour valeur de E_1 la différence de potentiel aux deux bornes du moteur, car E_1 doit exprimer la force électromotrice inverse du moteur à l'origine de l'induction.

On aurait pu arriver directement à l'expression du rendement en posant d'emblée

$$T_0 = QE_0 \quad \text{et} \quad T = QE_1,$$

d'où

$$\varphi = \frac{T}{T_0} = \frac{E_1}{E_0}. \tag{5}$$

Mais les développements précédents font voir comment les résistances s'éliminent de l'expression finale; ils nous donnent les valeurs respectives et relatives des temps de charge et de décharge, et nous montrent que, si les résistances n'agissent pas sur le rendement final; elles influent sur les temps et, par conséquent, sur les valeurs des travaux dépensés et récupérés dans l'unité de temps.

Dans la pratique, les résistances des circuits doivent donc être prises en considération. C'est à cause de sa très faible résistance intérieure que la pile secondaire de M. Faure permet d'obtenir un rendement de 80 p. 100, avec des régimes de charge et de décharge avantageux.

En effet, les constantes de la pile Faure sont, pour le petit modèle de $7^{\text{kg}},500$,

$$E = 2^{\text{volts}},15,$$
$$R = 0^{\text{ohm}},006;$$

faisons

$$E_0 = E \cdot 1,1 = 2^{\text{volts}},36.$$
$$E_1 = E \cdot 0.9 = 1^{\text{volt}},93.$$
$$R_0 = R = 0^{\text{ohm}}.006,$$
$$R_1 = R \cdot 9 = 0^{\text{ohm}},054.$$

Le travail dépensé pendant la charge sera

$$\frac{E_0^2 - EE_0}{g(R_0 + R)} = 4^{\text{kgm}},31$$

par seconde et par couple, régime qui permettrait de saturer la pile dans un temps de charge beaucoup plus court que celui dont on disposera habituellement.

Le travail *récupéré* par seconde et par couple pendant la décharge sera égal à

$$\frac{E_1^2}{g(R + R_1)} = 6^{\text{kgm}}.3.$$

Quant au *rendement*, il est, dans ces conditions, égal à

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{0,9}{1,1},$$

soit 80 p. 100.

III

Sur la force électromotrice inverse de l'arc électrique.

Par M. J. Jamin.

Dans la séance du 21 mars dernier, M. Le Roux a fait connaître un procédé simple pour démontrer dans l'arc voltaïque l'existence d'une force électromotrice

inverse. Ce procédé consiste à éteindre l'arc en ouvrant le circuit et à rétablir aussitôt après, à la main, la communication entre les deux charbons à travers un galvanomètre. On constate ainsi l'existence d'un courant, allant du pôle négatif au pôle positif, entre les pointes de charbon encore très chaudes et en sens contraire dans le galvanomètre. C'est Edlund qui, le premier, a signalé l'existence de cette force inverse; elle a été depuis démontré par toutes les expériences. Elle agit comme la polarisation des électrodes; elle se développe aussitôt que l'arc s'allume, croît rapidement jusqu'à une limite fixe, et alors elle oppose, comme la polarisation des électrodes, une résistance au passage du courant; elle équivaut environ à 10 ou 15 éléments Bunsen.

Si donc on essaye d'allumer un arc électrique au moyen d'une pile, il faut d'abord vaincre cette résistance par un nombre égal d'éléments et y en ajouter ensuite environ 25 autres pour obtenir un arc suffisant. Voilà pourquoi il faut toujours au moins 30 ou 40 éléments Bunsen pour maintenir un régulateur allumé; mais ils ne font que le travail de 25 éléments.

C'est aussi par la même raison qu'il est si difficile d'allumer deux ou un plus grand nombre d'arcs dans un même courant continu, puisqu'il faut, pour chaque arc allumé, vaincre la même force inverse. On conçoit donc que toute pile, toute machine à courant continu, tout accumulateur secondaire, comme celui de Planté ou celui de Faure, aura à lutter contre cet obstacle, devra avoir acquis une très grande tension avant de pouvoir allumer l'arc et n'en pourra allumer qu'un seul.

Les conditions sont toutes différentes avec les machines magnéto-électriques à courants alternativement contraires, comme par exemple l'auto-excitatrice de Gramme.

En effet, après qu'il a passé dans un sens et que la polarisation s'est établie, le courant normal cesse; mais il se reproduit aussitôt dans un sens opposé, qui est le sens de celui dont M. le Roux vient de constater l'existence. Loin d'avoir à lutter contre ce courant inverse, il profite de son existence, et les deux forces électromotrices, au lieu de se retrancher, se superposent. Ainsi, pendant la durée de chaque courant partiel, il y a deux périodes distinctes. La première commence au moment où se fait l'inversion, où les deux actions s'ajoutent et où le courant total a son maximum d'intensité; bientôt une polarisation contraire à la première s'établit, va en croissant, la détruit, et il n'y a plus que le courant normal de la machine, sans polarisation. Dans la seconde période, la force inverse se retranche du courant normal, l'intensité se réduit à une différence et décroît: c'est la période d'accumulation après laquelle la force inverse se débandera tout à coup au moment de l'inversion suivante.

Si les inversions se succédaient après de grands intervalles, la résistance au passage aurait le temps d'atteindre son maximum, et l'on serait, au moment de chaque inversion, dans le même cas qu'avec une pile; mais, dans nos machines, elles se renouvellent au moins cinq cents fois par seconde. Il y a donc au moins cinq cents émissions de courant avec une force électromotrice égale à celle de la machine, augmentée de la force inverse créée pendant la durée de l'émission précédente. Il y a cinq cents accumulations et cinq cents émissions de coups de force qui donnent à l'arc son grand éclat.

On comprend maintenant comment il se fait qu'on puisse allumer plusieurs arcs dans le même circuit d'une machine et pourquoi on ne peut le faire avec une pile ou avec un accumulateur : c'est que dans le premier cas

on profite de la force inverse à chaque interruption, et que dans le second il faut la vaincre quand elle est permanente et qu'elle est maximum; c'est ce qui fait l'avantage des bougies électriques et la supériorité des machines sur les piles.

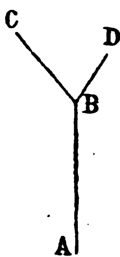
Il est probable que la durée nécessaire pour que la force inverse atteigne sa valeur limite est très courte, car le nombre des lampes qu'on peut allumer dans un même circuit augmente rapidement avec la vitesse. Les derniers perfectionnements apportés à la machine Gramme permettent de porter ce nombre à 15 et même à 20 lampes, ce qui fait de 60 à 80 par machine; elles valent environ 25 carcels chacune, ce qui fait un total de 1.500 à 2.000 carcels, dépensant un peu moins de 20 chevaux.

On est d'accord pour expliquer l'existence des forces électromotrices par le phénomène de Peltier. Le courant qui passe de la pointe positive à l'arc échauffe considérablement cette pointe, puis il continue et passe de l'arc sur la pointe négative; là il y a refroidissement ou au moins échauffement plus faible, et l'on sait que, le courant cessant, la différence de température des soudures développe un courant contraire à celui qui la détermine. Ce serait donc uniquement cette différence de température des deux pointes qui déterminerait la force inverse : or, comme elle n'a point lieu avec des courants alternatifs, cette force ne doit point exister.

COMMUTATEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE

DE MM. LE DOLLEY ET LE GOUAZIOU.

Supposons que trois bureaux A, C, D soient reliés chacun par un conducteur au bureau B et que A n'ait généralement qu'à échanger des transmissions alternativement avec C et D; afin d'éviter dans ce cas, pour le changement des communications, l'intervention de l'employé du bureau intermédiaire B, M. Le Dolley, commis principal à Lyon, propose l'emploi d'un rappel par inversion de courant modifié de la manière suivante : l'électro-aimant de ce rappel serait relié d'un côté au fil de A, et de l'autre à l'armature, l'un des deux heurtoirs limitant la course de cette armature communiquerait avec C, le second avec D. Deux faibles ressorts fixés à l'armature ne rompraient la communication avec l'un de ces heurtoirs qu'au moment où elle serait établie avec l'autre. Il est facile de voir qu'avec cette disposition, suivant que le poste A se servirait du courant positif ou du courant négatif, il se trouverait, par suite de la position de l'armature, en communication directe avec C ou D.



Une des objections que l'on peut faire au système précédent, c'est que l'un des fils reste toujours isolé. Pour éviter cet inconvénient, M. Le Gouaziou, commis

au poste central de Paris, a proposé un appareil plus complet : en même temps que son commutateur établit la communication directe, le fil sans emploi est relié à la sonnerie du poste intermédiaire. Cette double communication est établie en doublant le système Le Dolley, c'est-à-dire en employant deux rappels qui sont successivement traversés par le courant de ligne: l'un de ces rappels est disposé comme celui décrit ci-dessus ; quant à l'autre, son armature est reliée à la sonnerie et ses heurtoirs sont comme ceux du premier rappel en communication avec les fils des postes à appeler ; mais les communications sont disposées de telle sorte que si A se servait du courant positif, par exemple, l'armature du premier rappel serait reliée au poste C, et l'armature du second rappel au poste D. Réciproquement, le courant négatif établirait la première armature en communication avec D et la seconde avec C.

C. S.

TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE.

RECHERCHES SUR LA RADIOPHONIE.

REPRODUCTION THERMOPHONIQUE DE LA PAROLE ARTICULÉE.

PAR M. E. MERCADIER.

(2e article.)

III

Il restait à étudier au point de vue radiophonique les gaz autres que l'air, les vapeurs et les liquides.

Cette étude est facile à l'aide des tubes récepteurs en verre. En versant une couche de quelques centimètres d'eau au fond d'un de ces tubes (voir la *fig.* 1, page 45 du précédent numéro des *Annales*, janvier et février, 1881), et en introduisant à la partie supérieure un demi-cylindre de mica enfumé, on peut exposer aux radiations intermittentes successivement le liquide et l'air chargé de vapeur d'eau au-dessous et en face de la partie enfumée.

On constate ainsi que les radiations traversant l'eau ne produisent pas d'effet sonore sensible; qu'en traversant l'air humide immédiatement au-dessus de l'eau et dans la partie transparente du tube les effets sonores sont très faibles, mais deviennent d'autant plus intenses que l'air est plus saturé de vapeur d'eau, ce qu'on obtient

en chauffant le liquide avec une lampe à alcool. Enfin, en traversant l'air humide de la partie supérieure du tube où se trouve un demi-cylindre de clinquant enfumé, les radiations produisent les mêmes effets, mais avec une intensité beaucoup plus grande.

J'ai obtenu les mêmes résultats avec l'éther sulfurique et l'ammoniaque.

J'en étais là de ces recherches quand j'appris que M. Tyndall avait fait l'étude complète des gaz et des vapeurs à ce point de vue. Personne n'était plus en état de les exécuter que le savant physicien à qui nous devons de si beaux travaux sur l'absorption de la chaleur rayonnante par les gaz et les vapeurs. M. Tyndall a constaté principalement que les effets sonores produits par les gaz et les vapeurs enfermés dans des ballons en verre étaient *d'autant plus intenses que ces substances absorbaient mieux les rayons calorifiques*, et il est parvenu, comme je l'avais fait moi-même, à produire ces effets avec des radiations calorifiques *obscures*. Après ces recherches très complètes, je crois qu'on peut considérer comme élucidée la question de la transformation d'énergie radiante en énergie sonore dans le cas des récepteurs considérés.

J'ajouterai seulement, comme dernière remarque, qu'on obtient ici des effets relativement intenses et par des moyens en apparence bien disproportionnés. Ainsi, par exemple, avec la roue interruptrice dont je me sers et à laquelle j'ai pu donner une vitesse de 30 tours par seconde, on peut obtenir des sons correspondant à 2,400 vibrations doubles par seconde, et il en résulte, en tenant compte des parties pleines de la roue, égales en largeur aux parties transparentes, que chaque effet thermique ne dure qu'environ 0^s,0002; nouvelle preuve

de la puissance qu'on peut obtenir avec une cause extrêmement petite, mais qui agit *périodiquement* avec une grande rapidité.

IV

Reproduction thermophonique du chant et de la parole articulée.

A l'aide de cet appareil très simple, que j'appelle thermophone, et qui se réduit en somme à un tube bouché en verre contenant de l'air et une mince lame de mica enfumé, j'avais obtenu la reproduction d'une échelle *continue* de sons musicaux, depuis les plus graves jusqu'à des sons correspondant à 2,400 vibrations doubles par seconde; puis, d'une manière continue également, la succession d'accords parfaits dont le son fondamental parcourait cette longue échelle.

Il était naturel de penser qu'il serait possible d'aller plus loin, en reproduisant le chant et même la parole articulée.

J'y suis en effet parvenu, au commencement du mois de mai (*), de la manière suivante :

Lorsqu'à l'aide d'un thermophone employé comme *récepteur* on veut essayer de reproduire, non pas des sons ou des accords musicaux, mais bien le chant et la parole articulée, la forme de l'appareil qui produit les intermittences des radiations doit changer.

Il ne s'agit plus, en effet, alors d'interrompre un rayon suivant une loi périodique et régulière, par exemple, en

(*) La note où j'annonçais ce résultat a été présentée à l'Académie des sciences le 9 mai 1881. Un Mémoire de M. G. Bell, présenté le même jour, montre qu'il avait atteint de son côté, à Washington, le même résultat, à l'aide de la lumière solaire seulement.

lui faisant traverser les ouvertures d'une roue tournant rapidement (voir tome VII, page 547 des *Annales*, novembre et décembre 1880). Il faut faire varier l'intensité du faisceau radiant suivant une loi très complexe comme l'est la forme de l'onde aérienne produite par la voix articulée.

On y parvient, comme l'a indiqué M. G. Bell, dans son photophone à sélénium, en faisant réfléchir le faisceau radiant sur un miroir plan très mince déformé par la voix d'un observateur parlant derrière lui. On peut disposer cet appareil, qu'on peut nommer *transmetteur*, de la manière suivante (*fig.* 1).

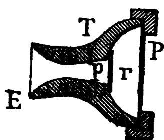


Fig. 1.

T est une sorte de cornet acoustique en bois ou en laiton. L'une des embouchures E sert à parler : on y applique la bouche; l'autre est fermée d'abord par une lame de verre argenté P d'un 10e à un 20e de millimètre d'épaisseur, puis par une membrane très mince *p* en mica ou en caoutchouc. Entre les deux se trouve une sorte de petit réservoir d'air *r*. Cette disposition très simple permet de placer à l'intérieur la face argentée de la lame P, ce qui assure sa conservation, de régulariser les vibrations produites par la voix, et d'éviter la rupture de la lame P sous l'influence des mouvements brusques qui résultent quelquefois de l'articulation de quelques consonnes.

Ce récepteur est porté sur un pied en laiton très lourd muni d'une articulation à genou et d'une glissière verticale, de façon à pouvoir aisément donner à la lame P une direction quelconque.

Le faisceau radiant est projeté sur un récepteur et réfléchi par lui dans une direction convenable : comme la

lame mince P ne peut pas être plane et que son encastrement la déforme toujours un peu, le faisceau réfléchi est, de ce fait, étalé en forme de cône irrégulier. Quand on parle en E ce faisceau varie à chaque instant de grandeur et d'intensité, ainsi qu'il est facile de le constater en le recevant sur un écran à quelques mètres de distance : ces variations correspondent aux déformations de la lame P produites par la voix.

Avant de recevoir le faisceau sur le thermophone qui sert de récepteur, il est nécessaire de le concentrer. On se sert, à cet effet, soit d'une grande lentille achromatique, soit d'un miroir sphérique ou parabolique, au foyer desquels on place le thermophone.

Voici du reste les dispositions pratiques qu'on peut donner à l'appareil suivant les cas.

1° *Emploi du soleil, comme source de radiations.*

En ce cas la grande difficulté inhérente à ce genre d'expériences disparaît en grande partie. Cette difficulté consiste en effet en ce qu'il ne faut pas entendre directement la voix de la personne qui chante ou parle dans le transmetteur T; d'où la nécessité d'éloigner suffisamment le transmetteur du récepteur.

Le parallélisme naturel des rayons solaires permet de les recevoir directement sur le transmetteur et diminue la difficulté, car on peut faire, suivant les besoins, réfléchir une ou deux fois le faisceau lumineux sur des miroirs plans sans altérer le parallélisme et tout en lui laissant une intensité suffisante pour produire le phénomène radiophonique.

Si l'on opère en rase campagne, l'opérateur qui parle ans le transmetteur reçoit directement les rayons so-

laires et les dirige constamment sur le récepteur pendant qu'il parle. Je laisse de côté ce cas-là qui offre peu d'intérêt pour le moment, et j'examine le cas qui se présente quand on veut étudier les phénomènes dans un laboratoire.

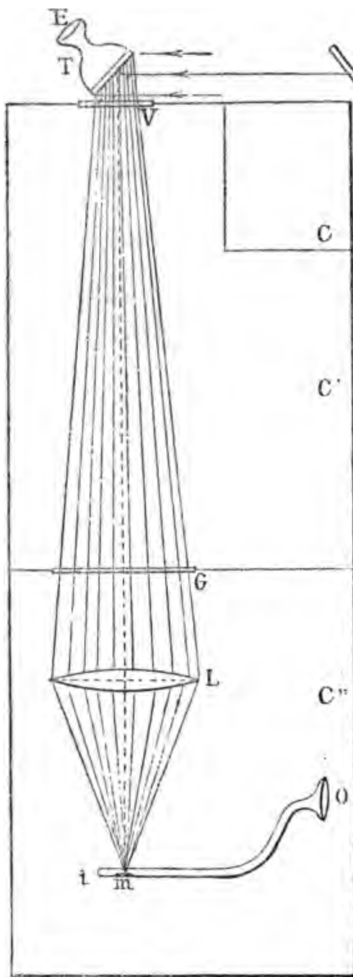


Fig. 2.

En décrivant les dispositions que j'ai pu prendre dans le mien, on verra ce qu'il est possible de faire à cet égard. La *fig.* 2 les représente.

C'est une chambre renfermant un cabinet noir C et fermée d'un côté par une porte vitrée V, de l'autre, par une porte dont le panneau est fermé par une glace sans tain G et qui sépare la chambre C′ de la chambre C″. La distance V et G est d'environ 8 mètres.

Le transmetteur T est placé sur une terrasse, en dehors de la chambre C′; il reçoit les rayons solaires par l'intermédiaire d'un héliostat H.

Sa lame vibrante est circulaire, et elle peut avoir de 50 à 100 millimètres de diamètre. M. Duboscq, qui construit mes appareils de radiophonie, m'en a fait une de 105 millimètres de diamètre qui fonctionne très bien; mais un diamètre de 50 millimètres suffit.

Le faisceau solaire réfléchi traverse la chambre C′, la glace G, et vient tomber sur une lentille achromatique L de 16 millimètres environ de diamètre, ou sur un miroir en verre argenté du plus grand diamètre possible, afin de recueillir, si l'on peut, tout le faisceau réfléchi dont les dimensions sont d'autant plus grandes qu'on est plus éloigné.

Au foyer de la lentille ou du miroir on place le thermophone récepteur. Après avoir essayé toutes les formes de récepteurs thermophoniques que j'ai décrites dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences en décembre 1880 et février 1881, et dans le *Journal de physique*, tome X, février et avril 1881, je me suis arrêté à celle qui donne, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande intensité aux sons reproduits. C'est un petit tube *t* de 60 à 70 millimètres de longeur, de 8 à 10 millimètres de diamètre, renfermant une mince lame de mica *m* enfumée sur ses deux faces à l'aide d'une lampe à pétrole fumeuse. Un tube en caoutchouc relie le tube *t* à un cornet acoustique O qu'on applique à l'oreille.

Ce thermophone extrêmement simple est fixé sur un support quelconque de façon à ce que le foyer lumineux se trouve sur une lame enfumée. On peut ainsi tenir d'une main le cornet O appliqué contre une oreille et boucher l'autre avec la seconde main. On peut aussi prendre pour thermophone un tube ouvert et relier symétriquement les deux ouvertures aux deux oreilles, ce

qui présente quelque avantage quand les sons produits sont assez intenses.

Dans ces conditions, on peut parler à haute voix en T, la voix ne s'entend pas directement en O, à environ 15 mètres de distance. Mais si l'on porte à l'oreille le cornet O, on observe les phénomènes suivants :

Si le ciel est pur et le soleil chaud, c'est-à-dire si, après la réflexion des rayons solaires sur le miroir de l'héliostat H, et sur la lame argentée du transmetteur, et leur réfraction à travers les vitres V, G, et la lentille L, on éprouve, en mettant la main au foyer, une impression assez vive de chaleur, on entend la reproduction complète et véritablement merveilleuse des paroles articulées en T. En faisant lire à la personne qui parle un texte qu'on ne connaît pas, on suit très bien la lecture. L'articulation est nette, le timbre est si peu altéré que l'illusion est complète, on croit entendre parler *directement* à distance. On peut considérer cela, je crois, comme une nouvelle preuve que dans le thermophone décrit, c'est l'air qui vibre et non le noir de fumée et le mica qui le supporte, une colonne gazeuse, en effet, est seule susceptible de reproduire avec une telle perfection les inflexions si variées qui constituent la voix humaine articulée. Quant au chant, le thermophone le reproduit admirablement, ce qui s'explique sans difficulté, car le phénomène est alors beaucoup plus simple.

Si le soleil est moins chaud, s'il est voilé légèrement, le chant et le timbre de la parole articulée sont toujours reproduits parfaitement, mais les articulations perdent leur netteté, et la parole entendue dans le thermophone devient d'autant plus vague que la radiation solaire est moins intense. J'ai eu l'occasion d'observer plusieurs fois l'affaiblissement graduel de la netteté de ce phénomène

quand le soleil est graduellement voilé par des nuages légers qu'on ne voit souvent même pas.

Il en résultera une grande difficulté pour observer ces faits et les étudier d'une manière continue dans les pays du Nord où le ciel n'est pas très pur.

Pour éviter cet inconvénient, j'ai dû chercher à me servir d'autres sources que le soleil, et j'ai déjà pu obtenir les résultats suivants :

2°. — *Emploi de sources radiantes artificielles.*

Pour pouvoir arriver à un résultat avec des sources de ce genre, j'ai commencé par laisser de côté toute considération de distance entre le point où la voix se produit et celui où elle est reproduite, sauf à y revenir plus tard, s'il est possible d'arriver à utiliser ces phénomènes pour l'établissement de communications à grande distance. Alors le problème se simplifie un peu.

On peut songer à rapprocher la source et le transmetteur du récepteur afin de mieux concentrer le faisceau réfléchi sur le thermophone. Mais il en résulte aussi la nécessité d'éloigner la personne qui parle du transmetteur, sans quoi l'on risque d'entendre directement sa voix.

Pour cela j'ai profité des propriétés des tuyaux acoustiques qui peuvent transporter à des distances assez grandes la voix avec une intensité remarquable. Je me suis assuré qu'en ajustant à l'embouchure du transmetteur un long tuyau de caoutchouc de 1 à 2 centimètres de diamètre intérieur, on pouvait, même à une distance de 10 mètres et plus faire vibrer vivement la lame mince en verre.

Pour m'en assurer, j'ai refait l'expérience dont le dispositif est représenté dans la *fig.* 2 de la manière

suivante : au lieu de parler directement à l'embouchure E du transmetteur, on a relié cette embouchure à un tuyau de caoutchouc aboutissant au cabinet C, après avoir traversé la porte vitrée V et la paroi du cabinet dans lequel on a pu parler à travers un tuyau de 5 à 6 mètres de longueur. L'expérience réussit très bien dans ces conditions, et elle se trouve ainsi simplifiée, car il suffit d'avoir à l'extérieur de la chambre C un support où placer le transmetteur et l'héliostat.

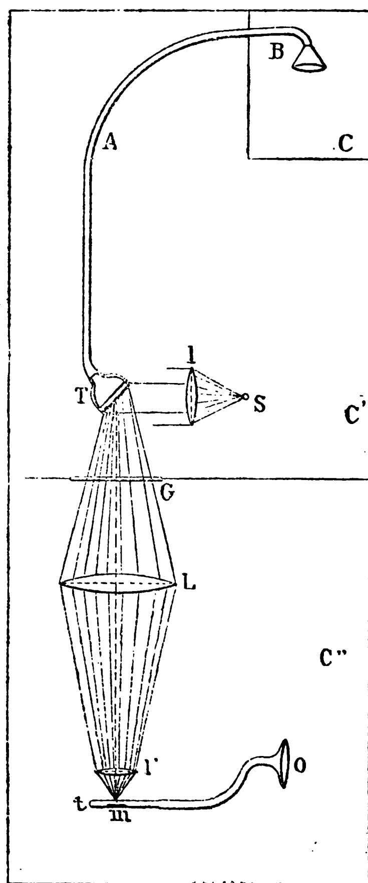


Fig. 3.

J'ai pu alors essayer l'emploi de la lumière électrique.

La *fig.* 3 indique la première disposition qui m'a donné de bons résultats. Les lettres communes aux *fig.* 2 et 3 représentent les mêmes objets. On voit de plus sur la *fig.* 3 la source électrique S émettant des rayons que la lentille *l* rend parallèles. Le transmetteur est relié au cornet B dans lequel on parle par un long tuyau de caoutchouc A. La distance entre le

transmetteur et la lentille L est d'environ $1^m,50$; l est une lentille de 3 centimètres environ de distance focale servant à concentrer les rayons sur une surface aussi petite que possible de la lame enfumée du thermophone *t*.

On entend alors dans celui-ci le chant avec une grande perfection, mais l'articulation de la parole est un peu vague.

En essayant de changer les distances relatives des éléments de l'appareil, j'ai remarqué qu'on perdait plus à les rapprocher qu'à les éloigner. Un faisceau de rayons électriques concentré de façon à brûler la main au foyer d'une lentille ou d'un miroir donne des résultats plus que médiocres. Il y a là une limite qu'il ne faut pas dépasser.

On peut s'en rendre compte en remarquant que l'effet est produit en somme par les variations d'intensité du faisceau, et qu'il dépend du rapport de ces variations à l'intensité en quelque sorte *statique* du faisceau : si celle-ci est trop grande, il se peut que le rapport soit trop petit pour que les effets correspondants aient une netteté suffisante. On conçoit donc qu'on puisse obtenir de meilleurs résultats pour une variation égale d'intensité en vitesse absolue, quand l'intensité elle-même est faible que lorsqu'elle est plus grande.

C'est ce que l'expérience m'a nettement indiqué, si bien que j'ai pu transporter la source S et le transmetteur T dans le cabinet C, *fig.* 3, et, à travers une porte vitrée qui ferme ce cabinet, envoyer le faisceau réfléchi sur la lentille L à travers la glace sans tain G à la distance indiquée par les *fig.* 2 et 3, c'est-à-dire à environ 10 mètres du transmetteur. La reproduction des articulations de la parole est devenue meilleure.

Les observations que je donne ainsi avec détails pour éviter aux personnes qui voudraient répéter ces expériences les tâtonnements auxquels j'ai dû me livrer d'abord, je les ai refaites en substituant à la lumière électrique la lumière oxydrique produite à la manière ordinaire.

En plaçant la lentille de concentration à 6 mètres environ du transmetteur, on obtient les mêmes résultats qu'avec la lumière électrique.

De nouveaux essais non encore terminés me permettent d'espérer les obtenir avec des sources encore plus faibles.

CHRONIQUE.

Prix Vaillant.

Dans sa séance du 14 mars 1880, l'Académie des sciences a, sur la proposition des commissaires, MM. Fizeau, du Moncel, Breguet et Cornu, accordé le prix Vaillant à M. Ader pour les perfectionnements qu'il a apportés à la télégraphie phonétique.

« L'Académie avait proposé la question suivante :

« *Perfectionner en quelque point important la télégraphie phonétique.*

« Depuis la découverte du téléphone magnéto-électrique articulant par M. Graham Bell en 1876, on a recherché à perfectionner cet appareil si remarquable et à le rendre applicable à la télégraphie lorsqu'il s'agit de transmettre la parole à de grandes distances. Pour atteindre ce but, non seulement la transmission des sons doit se faire avec une intensité suffisante, et l'articulation des mots doit être toujours distincte, mais encore il est nécessaire d'atténuer et même d'éliminer les efforts d'induction produits par les fils voisins de ceux qui servent au téléphone et qui sont parcourus par les courants électriques des télégraphes.

« Parmi les personnes qui se sont livrées à ces recherches, la Commission a distingué M. Ader, auteur d'un certain nombre de dispositions téléphoniques ingénieuses, dont plusieurs sont déjà mises en pratique. On peut signaler, entre autre une disposition du transmetteur du téléphone à pile, et l'addition, dans le récepteur, d'une armure en fer doux permettant de renforcer l'action magnétique exercée sur la plaque mobile et, par suite d'accroître la puissance du téléphone.

« Sans doute bien des travaux sont encore à faire dans cette

voie, mais la Commission, désirant témoigner à M. Ader l'intérêt qu'elle a pris à ses recherches, conduites avec une bonne entente des données scientifiques, et l'engager à poursuivre ses expériences, propose à l'Académie de lui accorder sur la valeur du prix Vaillant et à titre de récompense, une somme de *trois mille francs*.

« Cette proposition est adoptée. La question proposée est retirée du Concours. »

Sur la force électromotrice de l'arc voltaïque.

Note de M. F.-P. Le Roux.

Quand un flux électrique est établi entre deux conducteurs de même nature par l'intermédiaire d'un milieu gazeux, qui est ordinairement la vapeur émise par la substance, l'inégalité de température des portions de ces conducteurs qui sont contiguës à ce milieu paraît un fait général. Il semble non moins général que l'extrémité par laquelle arrive l'électricité positive possède la température la plus élevée. C'est ce qu'on observe à un degré très remarquable lors de la production de l'arc voltaïque entre deux charbons au moyen d'un courant de sens constant, tel que celui d'une pile.

L'idée d'attribuer à ce phénomène une origine thermo-électrique est déjà ancienne ; on la trouve mentionnée dans les cours de Verdet. D'après l'application du principe de l'équivalence de la chaleur aux phénomènes électriques, telle qu'elle résulte des travaux de MM. Helmholtz, Clausius et W. Thomson, à un dégagement de chaleur au point de jonction de deux substances hétérogènes correspond une force électromotrice agissant en sens inverse du courant. M. Edlund a fait remarquer, il y a déjà longtemps, que l'hypothèse de la résistance de l'arc voltaïque considéré uniquement comme un conducteur ne suffisait pas pour rendre compte de la diminution d'intensité qu'il fait éprouver au courant de la pile. Tout récemment, M. Joubert, au cours de ses intéressantes recherches sur les machines magnéto-électriques, est arrivé à cette conclusion que la résistance de l'arc était très faible, que la différence de potentiel qui existe entre les deux charbons était

due pour la plus grande partie à une force électromotrice résultant d'un phénomème de polarisation dont il réserve l'explication.

J'ai eu autrefois l'occasion de reprendre l'expérience de M. Wartmann, qui montre que, si l'on suspend pendant une fraction de seconde très appréciable, même 1|10, le passage du courant, on peut, en le rétablissant, voir l'arc du courant se produire à nouveau sans qu'on ait besoin de ramener les charbons au contact. Ce fait s'explique très bien si l'on songe que la vapeur de carbone, qui, selon moi, constitue principalement l'arc, peut persister quelque temps encore après la cessation du courant, et aussi que les gaz chauds qui baignent les charbons sont conducteurs, comme l'a montré M. Edm. Becquerel.

Étant admis que du passage du courant résulte entre les deux charbons une différence de potentiel, cette différence doit subsister un certain temps après que le courant a cessé, et, du moment qu'il existe entre les deux charbons encore chauds un milieu conducteur, on doit pouvoir manifester au galvanomètre cette différence de potentiel. J'avais, autrefois, essayé de la mettre en évidence au moyen d'une sorte de double roue interruptrice, analogue à la roue distributrice que j'avais employée pour faire passer par intermittence le courant d'une pile entre deux foyers ; mais ce genre d'appareil donne lieu à des difficultés spéciales.

Il m'a paru plus démonstratif de n'employer qu'un seul contact, opéré à la main, après l'interruption du courant de la pile. Avec un galvanomètre à grande résistance, on peut de cette manière, même 2|10 environ de seconde après la cessation du courant de la pile, mettre en évidence l'existence de cette force électromotrice inverse. On peut réussir avec une distance des charbons de plusieurs millimètres, mais les effets sont d'autant plus marqués que l'arc est plus court au moment de la cessation du courant principal. L'expérience réussit également, bien que les charbons soient, dans l'air ou dans l'œuf électrique, au degré de vide dans nos machines à pistons.

Des phénomènes du même genre se produisent entre deux tiges de platine.

Je crois que c'est bien là un phénomène thermo-électrique. Le charbon serait positif par rapport à sa vapeur, à un degré croissant avec la température.

(*Comptes rendus*.)

Sifflement de l'arc voltaïque.

Note de M. A. Niaudet.

L'arc voltaïque fait souvent entendre un sifflement, qui, dans certaines circonstances, peut devenir un bruit intense. Ce phénomène n'a guère attiré jusqu'ici l'attention des physiciens. On va voir qu'il faut en tenir grand compte dans toutes les mesures qu'on peut prendre sur l'arc.

L'étude que nous en avons faite a été rendue facile par l'emploi du galvanomètre de M. Deprez. Cet instrument, connu de l'Académie, peut être construit de deux manières différentes.

On peut le faire avec du fil très gros et un très petit nombre de spires, auquel cas sa résistance est très faible, et il peut servir à la mesure des intensités : s'il est étalonné au préalable, il donne les intensités en mesures absolues, en webers.

On peut aussi le faire avec du fil très fin et un grand nombre de spires, auquel cas il a une résistance considérable (450 ohms par exemple) et peut servir à la mesure des forces électromotrices ou des différences de potentiel entre deux points d'un circuit ; il est étalonné convenablement, et donne ces potentiels en unités absolues, en volts.

Si l'on place, comme l'a fait M. Deprez, un galvanomètre d'intensités dans le circuit général, et un galvanomètre de potentiels en dérivation par rapport à l'arc voltaïque, on peut suivre les variations qui s'y produisent. Elles sont révélées d'une manière instantanée.

Ce procédé d'examen nous a fait reconnaître ce fait suivant :

La différence de potentiel entre les deux charbons a deux valeurs notablement différentes, l'une plus grande quand l'arc est silencieux, l'autre plus petite quand l'arc siffle.

L'aiguille du galvanomètre saute brusquement et sans transition d'une région à une autre quand le silence s'établit ou cesse. Si on la suit de l'œil en même temps qu'on prête l'oreille, on voit les moindres bruits, les plus momentanés, se produire par un saut de l'aiguille.

Au contraire, quand le silence est bien établi, l'aiguille peut se tenir tranquille pendant un temps assez long.

Il va sans dire que, aux changements qui surviennent dans le potentiel de l'arc, répondent des variations en sens inverse de l'intensité du courant général.

Voici le résultat d'une expérience prise parmi d'autres. Nous opérions avec une machine dont les électro-aimants étaient excités par une autre, de sorte que nous trouvions dans les mêmes conditions qu'avec une machine machine magnéto-électrique ou avec une pile.

Intensité en webers.	Différ. de potentiel en volts.	
34	54,3	silence.
36	43	sifflement.
34	49	silence.
42	41,4	sifflement.
38,1	49	silence.

Une théorie complète de l'arc voltaïque devra rendre compte de ce phénomène singulier.

(*Comptes rendus.*)

Sur la conductibilité voltaïque des gaz échauffés.

Note de M. R. Blondlot.

On considère généralement les gaz comme incapables de transmettre le courant fourni par une pile de quelques éléments. Un seul cas d'exception a été indiqué par M. E. Becquerel : c'est celui des gaz portés à la chaleur rouge. M. Becquerel a reconnu qu'à cette température élevée, différents gaz, l'air entre autres, laissent passer le courant d'une

pile, même celui d'un élément Bunsen. Toutefois la résistance des gaz suivrait des lois très différentes de celles qui ont été établies pour les solides et les liquides : elle dépendrait de l'intensité du courant, du nombre des éléments de pile et, entre deux électrodes à surfaces inégales, du sens du courant. La singularité de ces lois a été cause que, non seulement elles ont été mises en doute, mais que l'existence même du pouvoir conducteur des gaz a été contestée. M. G. Wiedemann suppose que, dans les expériences de M. Becquerel, le courant a pu être transmis, non à travers le gaz, mais par les mastics servant à sceller les électrodes et devenus conducteurs par suite de l'élévation de température; à l'appui de son opinion, il cite une expérience négative de M. Grove.

En présence de ces divergences, j'ai pensé qu'il serait utile de mettre hors de contestation l'existence de la conductibilité des gaz au moyen d'une expérience dans laquelle toutes les parties de l'appareil seraient constamment accessibles aux regards.

A cet effet, j'ai eu recours à la disposition suivante : sur un circuit sont installés un élément à sulfate de cuivre et un électromètre capillaire; le circuit est interrompu en un point, et chacune des extrémités du fil est reliée à une plaque de platine d'environ 0^{m},03 de diamètre; les deux plaques sont maintenues verticales, en regard et parallèles au moyen de ongs tuyaux de pipes isolés à la partie inférieure. La distance des plaques étant réglée à 0^{m},002 ou 0^{m},003, il est clair que le circuit est interrompu par la couche d'air interposée et que l'électromètre reste immobile.

Voici maintenant l'expérience. On commence par fermer l'électromètre sur lui-même, au moyen du pont qui lui est annexé; puis, à l'aide d'un chalumeau de lampe d'émailleur, on porte au rouge les deux plaques de platine (pendant cette opération l'électromètre reste toujours au zéro, puisqu'il est fermé par le pont). On enlève alors la flamme, puis, un instant après, le pont : aussitôt le mercure de l'électromètre sort du champ du microscope. Par conséquent, la continuité du circuit, qui était interrompue par l'air froid, est rétablie par l'air chaud : il ne peut rester aucun doute sur l'existence de la conductibilité voltaïque des gaz chauds.

M. Becquerel avait constaté l'apparition du pouvoir conducteur des gaz à la chaleur rouge seulement; j'ai pu observer ce pouvoir à des températures beaucoup moins élevées. L'appareil qui m'a servi est le même que le précédent, sauf que la pile est composée de 5 bunsens; il suffit de placer au-dessous des plaques de platine, à une distance de $0^m,40$, un bec de gaz d'éclairage, pour constater le passage de l'électricité. La température moyenne du gaz est dans ce cas assez peu élevée pour qu'on puisse y maintenir la main : un thermomètre y accuse une température moyenne finale de 60° à 70°. L'interposition d'un écran, ou l'agitation de l'air empêche le phénomène. La lampe peut être remplacée par un corps incandescent, tel qu'une grosse baguette de verre portée au rouge; par conséquent, l'air atmosphérique lui-même est susceptible de devenir conducteur.

J'ai observé que, si les deux plaques de platine sont inégalement échauffées, il se produit des forces électromotrices considérables : la plaque la plus chaude constitue un pôle négatif par rapport à l'autre. Le sens de ce phénomène est le même que celui qui a été observé par M. A. Becquerel dans la flamme elle-même.

(*Comptes rendus.*)

Sur les décharges internes des condensateurs électriques.

Note de M. E. Villari.

Lorsqu'on décharge une batterie fortement chargée, il se produit dans son intérieur un bruit sourd caractéristique. Le verre des bouteilles aux bords des armatures s'éclaire vivement, et il s'y développe de la chaleur, comme je l'ai constaté en introduisant une des bouteilles dans un thermomètre à air convenablement disposé.

Donc, en dehors de la charge *ordinaire* externe de la bouteille, il y en a une autre dans son intérieur, que j'appellerai *interne* pour la distinguer de la première. Elle a lieu le long

des parois du condensateur dépourvues des armatures, et elle est appréciable par la lumière et la chaleur qui l'accompagnent. En mesurant la décharge interne par les dilatations thermométriques qu'elle engendre, on arrive aux conclusions suivantes :

1° La chaleur développée par la décharge interne peut se négliger avec de faibles décharges ; cependant, au delà de certaines limites, elle se manifeste et augmente très rapidement avec les décharges mêmes; ainsi un premier moyen pour augmenter cette chaleur interne, c'est de se servir de bouteilles chargées à un potentiel très élevé.

2° La décharge interne augmente sensiblement si l'on produit l'étincelle extérieure entre deux petites boules de 20 à 30 millimètres de diamètre ; elle diminue au contraire presque de la moitié, si l'on provoque l'étincelle entre une pointe et une des boules. C'est l'inverse pour la chaleur produite par l'étincelle excitatrice externe.

3° La décharge interne augmente pour une charge donnée si l'on diminue l'armature interne de la bouteille, elle diminue si l'on augmente l'armature jusqu'à ce qu'elle rejoigne l'armure externe ; à partir de là elle reste à peu près indépendante de l'étendue de l'armature dans les limites où j'ai opéré. La raison de ces phénomènes est complexe : ils dépendent en partie de la variation que subit le potentiel de la décharge avec l'extension de l'armature, en partie de l'influence qu'exercent les différentes étendues des deux armatures sur le nombre et la grandeur des étincelles.

4° La décharge interne est la même avec une bouteille ordinaire ou une bouteille étincelante.

5° La décharge interne diminue jusqu'à zéro, lorsqu'on augmente beaucoup la résistance du circuit extérieur.

6° La décharge interne, toutes choses égales d'ailleurs, paraît un peu plus forte avec un armature interne de mercure. A part cela, la bouteille se comporte comme une bouteille ordinaire avec armature d'étain.

Les conclusions précédentes, déduites des dilatations thermométriques, sont complètement confirmées par les phénomènes lumineux qui se manifestent dans les bouteilles, puisque l'éclat et la grandeur des étincelles internes correspon-

dent presque exactement et toujours à l'étendue des dilatations thermométriques.

7° Les décharges internes dépendent, selon moi, de ce que chaque armature induit ou excite dans la lame isolante une zone chargée d'électricité opposée à la sienne, les zones induites par les deux armatures étant séparées par une autre zone de verre à l'état naturel. Au moment de la décharge, une partie de l'électricité de l'armature et de la zone électrisée se neutralisent avec production d'étincelles et de chaleur : de là la décharge interne.

8° On peut démontrer l'existence de ces zones électrisées par les figures électriques que l'on obtient en projetant sur un carreau de Franklin en verre verni, ou mieux en ébonite, ou sur une bouteille de Leyde chargée, le mélange bien connu de soufre et de minium. Après la décharge des condensateurs on ne distingue plus ces figures, car les zones électrisées se détruisent plus ou moins complètement, à l'instant même.

9° Lorsque le carreau de Franklin a des armatures inégales, la zone neutre de la petite armature, ainsi que la zone électrisée, augmente d'étendue au moment de la décharge, du moins dans certains cas.

10° En étudiant par cette méthode des carreaux de verre d'armatures inégales, ou mieux des carreaux d'ébonite d'armatures inégales ou égales, j'ai observé qu'après avoir déchargé ces tableaux, comme à l'ordinaire, les armatures se présentaient chargées d'électricité opposée à celle qu'elles avaient originairement.

Peut-être cette méthode de recherches modifiée et plus étendue pourra nous offrir à l'avenir d'utiles indications sur l'inversion des décharges, sur l'influence des isolants et des vernis dont on fait usage dans les condensateurs, ainsi que sur la différente manière de deux électricités de se répandre sur les isolants ; toutes questions sur lesquelles j'espère pouvoir revenir un jour.

(*Comptes rendus.*)

Papier électrique.

M. Jamin a récemment présenté à l'Académie des sciences une intéressante communication qui lui avait été adressée par M. C. Wiedemann, chimiste, au sujet d'un moyen de réaliser bien facilement quelques expériences électriques. Le papier ordinaire, le papier écolier par exemple, bien chauffé et séché, acquiert des propriétés électriques dès qu'il est vivement brossé; on le sent crépiter à la main sous l'influence d'une multitude de petites décharges un peu lumineuses dans l'obcurité. Le papier électrisé adhère au mur. M. Wiedemann a reconnu que l'on pouvait exagérer considérablement les propriétés électriques du papier quand on lui fait subir un traitement préalable ; il suffit de plonger du papier ordinaire non collé, et de préférence le papier à filtre suédois ou le papier de soie qui garnit les copies de lettres dans un mélange à volume égal d'acide nitrique et d'acide sulfurique ; on lave à grande eau et l'on sèche. Ce papier, imparfaitement transformé en pyroxyle, est extrêmement électrique. Si on le place sur une table en bois, ou mieux sur une toile cirée, et qu'on le frotte de la main, il attire aussitôt tous les corps légers, barbes de plumes, petits morceaux de papier, pantins de sureau, etc. Dans l'obscurité, au moment où l'on détache le papier de la toile cirée, toute la surface brille comme du phosphore ; en approchant le doigt, on voit jaillir une étincelle électrique. On peut charger une bouteille de Leyde avec ce papier, constituer un véritable électrophore, faire en un mot les expériences ordinaires sur l'étincelle et la décharge électriques. Ce papier dégage, quand il a été frappé, l'odeur caractéristique de l'ozone. Il conserve très longtemps ses propriétés curieuses, et il suffit, dit M. Wiedemann, si elles s'affaiblissaient, de le chauffer légèrement pour lui rendre toute son énergie. On voit, par ce qui précède, que pour quelques centimes on peut ainsi posséder une machine électrique pouvant aider à la démonstration de tous les phénomènes électriques.

(*Bulletin de l'Association scientifique.*)

Nouveaux appareils enregistreurs de M. Mascart.

M. Mascart a décrit et présenté à la Société de physique, dans la séance du 1er avril, des appareils enregistreurs qu'il a disposés pour l'observation de l'électricité atmosphérique d'une part et des forces magnétiques de l'autre.

Les premiers sont des électromètres. Jusqu'ici le plus connu de ces appareils était celui de Kew, qui employait le papier photographique ordinaire; le moyen était un peu coûteux, de manipulation incommode, et surtout peu précis, ce papier n'étant pas assez sensible pour enregistrer les variations parfois très brusques de l'électricité atmosphérique. M. Mascart avait d'abord construit un enregistreur mécanique qui fonctionne bien, mais qui a le défaut d'être coûteux; il vient de revenir à la photographie en se servant du papier gélatino-bromuré dont la sensibilité est extrême et qui se trouve dans le commerce courant à bas prix.

L'aiguille de l'électromètre porte comme à l'ordinaire un miroir. Les rayons émanant d'une lampe gazogène, à très petite flamme, traversent une lentille plan convexe fixée dans l'enveloppe de l'électromètre, tombent sur un miroir, traversent de nouveau la lentille et vont faire leur foyer sur le papier photographique. L'observation a montré que le plan postérieur de la lentille réfléchit une certaine quantité de lumière dont l'image se concentre en un point fixe. M. Marcart a très ingénieusement utilisé ce point lumineux pour tracer une ligne fixe servant de repère. La lumière, à sa sortie de la lampe, traverse une pente verticale; à son arrivée sur le papier sensible, elle est reçue à travers une fente horizontale, en sorte qu'il n'en reste qu'un point bien précis. Le papier est coupé en rectangle, on le place dans un cadre qui descend par son poids, et dont le mouvement est régularisé par un rouage d'horlogerie. On le recouvre d'un verre sur lequel sont à l'avance tracés des traits qui, en passant dans la lumière, marquent les heures. Enfin, le fonds du cadre est formé d'un verre rouge portant les inscriptions nécessaires telles que dates, chiffres des heures, etc.; l'opération finie, on retourne

le cadre, on expose le côté à la lumière, et ces indications sont photographiées par transparence. La mise exacte à l'heure s'opère d'ailleurs par un léger mouvement de la fente horizontale. M. Mascart a fait fonctionner un de ces appareils en parallèle avec son électromètre euregistreur; les indications ont été parfaitement concordantes.

Il résulte de l'observation de ces appareils qu'on ne sait pas grand'chose de l'électricité atmosphérique; il semble certain qu'il y a un minimum de jour et un maximum de nuit; on avait généralement admis jusqu'ici qu'il y avait un maximum de nuit. M. Mascart pense que cette erreur tenait à un mauvais isolement, les causes de pertes s'exagérant toujours la nuit. On sait aussi que les nuages abaissent le niveau électrique et que la pluie est presque toujours énergiquement négative.

Les magnétomètres enregistreurs de M. Mascart sont principalement remarquables par leurs petites dimensions; il n'est nullement nécessaire, pour atteindre la précision, d'avoir recours aux gros appareils employés par Gauss et les aimants légers permettent, au contraire, d'écarter diverses causes d'erreur. Une disposition ingénieuse, indiquée par M. Duboscq, permettra de photographier sur un même papier les variations des trois composantes magnétiques.

(*La Lumière électrique.*)

Température de la lumière électrique.

M. Ed. Becquerel a montré en 1860 que la température de l'arc lumineux produit par une batterie de 80 éléments Bunsen atteint de 2.070 à 2.100° centigrades, et il avait ajouté que l'éclat lumineux ainsi que la chaleur radiante augmentaient proportionnellement, loi déjà établie par MM. Dulong et Petit. D'autres expérimentateurs ayant trouvé que cette loi n'était pas vraie pour des températures élevées, M. Rossetti a cherché à éclaircir cette question en procédant différemment dans les expériences, et en projetant les rayons calorifiques émanant d'une surface donnée des électrodes de charbon, sur une pile thermo-électrique réunie à un galvanomètre astatique à mi-

roir. Après des expériences nombreuses faites avec 160 éléments Bunsen et une lampe Duboscq, la température du charbon positif semblait osciller entre 2.400° et 3.900° centigrades. Plus la surface radiante était petite, plus la température était élevée, en supposant, bien entendu, que dans la surface rayonnante étaient comprises les pointes extrêmes des charbons. La température de l'électrode négative variait entre 2.138° et 2.530° centigrades; par conséquent, la température des pointes extrêmes des électrodes n'était pas moindre de 2.500° et 3.900° centigrades. Dans une lampe Reynier réunie à 8 ou 10 éléments Bunsen, la température du charbon positif atteignait de 2.406° à 2.734° centigrades.

(*La Lumière électrique.*)

BIBLIOGRAPHIE.

L'Électricien, revue générale de l'électricité, paraissant le 1er et le 15 de chaque mois. Éditeur M. Masson, 120, boulevard Saint-Germain, à Paris. 20 francs par an.

Une nouvelle revue scientifique, spécialement destinée, comme la *Lumière électrique* et l'*Électricité*, à l'étude des faits qui se succèdent dans le domaine de l'électricité, vient de se fonder à Paris. Elle paraît à un moment opportun ; l'année même où vont s'ouvrir, à Paris, le Congrès international des électriciens et l'Exposition universelle d'électricité qui fourniront d'innombrables matériaux.

Les noms des membres du Comité de rédaction, MM. Mercadier, Garriel, Niaudet, Dr de Lyon, Gaston Tissandier, et celui du secrétaire de la rédaction, M. Hospitalier, sont un sûr garant que la nouvelle publication sera à la hauteur de la mission qu'elle s'est imposée.

Parmi les articles qui composent les deux premiers numéros (15 avril et 1er mai 1881), nous citerons les suivants : sur la radiophonie produite à l'aide du sélénium, système de bureaux centraux pour les services téléphoniques ; discussion de la

formule des piles; l'électrobiologie; allumoirs électriques; la pile incendiaire de M. Faure ; la division de la lumière, etc.

Traité expérimental d'électricité et de magnétisme, par M. J.-E.-H. Gordon. Traduit de l'anglais et annoté par M. J. Raynaud, avec le concours de M. Seligmann-Lui. Librairie Baillière et fils, Paris.

Nous avons signalé dans le précédent numéro la publication du premier volume de cet important ouvrage. Le second volume, qui vient de paraître, contient l'analyse d'un grand nombre de travaux scientifiques qui étaient jusqu'ici peu connus, ainsi que des notes et appendices nombreux dans lesquels M. Raynaud s'est attaché à combler les lacunes que l'auteur anglais avait laissées dans son ouvrage. Les lecteurs y trouveront de précieux éléments d'études.

Voici les titres des principaux chapitres de ce volume : Courants d'induction, — Détermination des constantes des bobines, — Diamagnétisme, — Expériences du professeur Adams sur la détermination des lignes et surfaces équi-potentielles et des lignes de flux, — La bobine d'induction, — État sensitif de la décharge à travers les gaz raréfiés, — Expériences de M. Crookes, — Batteries secondaires, — Relation entre l'électricité et la chaleur, — Unités électriques absolues, — Rotation magnétique de la lumière polarisée, — Relation entre l'électricité statique et la lumière polarisée, — Théorie électro-magnétique de la lumière.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, 26, rue Racine

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1881 Mai-Juin.

ÉTUDE

SUR LES

BOIS EMPLOYÉS COMME POTEAUX ET APPUIS-VIVANTS

POUR LE

RÉSEAU TÉLÉGRAPHIQUE DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE.

(Extrait d'un Rapport de M. Le Mire,
Chef du service des postes et télégraphes de la Nouvelle-Calédonie.)

En Nouvelle-Calédonie, pays encore dépourvu de routes et de moyens de transport par terre, il était indispensable pour la construction rapide d'un réseau télégraphique, de n'employer que des bois existant à proximité du tracé des lignes. Encore le choix parmi les diverses essences était-il difficile, parce que leurs propriétés n'étaient pas bien connues. Ces bois devaient être employés aussitôt après l'abatage et la façon, en même temps, comme poteaux et comme appuis-vivants.

L'essence dominante dans le pays, le Niaouli (*Melalenca viridi flora*) offrait les plus grandes ressources.

Cet arbre atteint une quinzaine de mètres ; il est noueux et contourné dans les terrains secs exposés aux incendies par les Canaques et aux vents généraux ; il est droit, au contraire, dans les terrains humides et dans les plaines abritées. C'est un bois blanc, dense, de bonne qualité, imitant celui du poirier; son écorce est formée d'une quantité de couches blanches ou jaunâtres, très minces et se détachant à la main ; elle sert à une foule d'usages parmi les indigènes ; elle est assez épaisse pour préserver l'arbre de la destruction par les incendies qu'allument les Canaques dans les hautes herbes ; mais l'humidité intérieure de cette écorce constitue une enveloppe conductrice de la tête au pied de l'arbre, qui devient une cause de déperditiou du courant, surtout en temps de pluie ou lorsque l'appui a le pied dans les marais. Quand on découpe un peu au-dessus du sol un anneau circulaire de l'écorce, l'arbre meurt ; l'écorce, en se desséchant sur l'arbre, est rapidement attaquée par des vers qui pénètrent jusqu'au cœur. Ce procédé ne convient que pour un défrichement. Employé vivant, l'arbre n'est qu'étêté et ébranché, afin de ne pas donner prise au vent ; on conserve toutefois une jeune pousse au sommet et au-dessus des isolateurs, de façon à assurer la vitalité de l'arbre. On agit de même pour les autres essences sur pied.

Employé comme poteau, l'arbre est ébranché, épointé, et l'on enlève immédiatement l'écorce avant qu'elle ne devienne adhérente ; on laisse le poteau sécher sur place puis le pied est carbonisé et coaltaré. Les poteaux en niaouli se conservent bien pendant trois ou quatre ans; ils pourrissent au ras du sol et, sciés un peu plus haut, ils peuvent encore servir étant placés à quelque distance de leur ancien emplacement.

Il est à remarquer qu'en Cochinchine, du 9e au 11e degré de latitude nord, et en Calédonie, du 20e au 22e degré de latitude sud, ces colonies étant à 8.000 kilomètres l'une de l'autre, le bois le plus employé comme poteau offre une spécification presque analogue. Le niaouli (*Melalenca lencodendron viriddi flora*) est le succédané du cay-tram (cay-bois) (*Melalenca Cajeputi*) ; ces deux plantes fournissent l'huile essentielle de cajeput. Elles croissent dans les terrains inondés comme sur les coteaux arides, elles ont les mêmes qualités ; elles comprennent deux variétés : la blanche et la rouge, cette dernière étant la meilleure. L'écorce a la même conformation et sert aux mêmes usages ; elles sont propices aux essaims d'abeilles sauvages ; mais, — tandis que sous le tropique du Cancer, le tram donne les terribles fièvres des bois, — sous le tropique du Capricorne, le niaouli assainit les marais ; sa feuille sert à des infusions aromatiques fébrifuges. L'opposition des propriétés des deux essences, presque semblables d'ailleurs, pourra donner lieu de la part des botanistes à d'intéressantes recherches, alors qu'il est question d'acclimater en Algérie les mélalencas au même titre que l'eucalyptus d'Australie. Ce dernier n'existe en Nouvelle-Calédonie qu'en pépinière d'acclimatation.

Le niaouli vivant réalise, par sa constitution, un véritable paratonnerre naturel. C'est l'essence dont la conductibilité électrique est la plus grande. On sait qu'aux Indes les poteaux sont munis d'un fil extérieur réunissant la cime à la terre. Le fourreau humide du niaouli fait communiquer la tête avec les racines et le sol humide. Les poteaux en niaouli n'ont pas cet avantage, mais présentent un isolement plus parfait. Sur les pins, la foudre trace une rainure hélicoïdale entre les nœuds.

Le chêne-gomme (*Spermolepis gummifera*) (densité 0,991) peut remplacer le chêne de France. Tout en conservant une certaine élasticité, il présente une grande résistance à la rupture, il se conserve indéfiniment quand il a été bien façonné; c'est le meilleur de tous les bois pour poteaux. Il a l'inconvénient d'être lourd et fondrier; de là, des difficultés pour son transport par terre ou par eau; mais ses qualités sont précieuses pour la télégraphie. Il revient, tout préparé, à 4f,50 sur les chantiers d'exploitation. Il est surtout abondant dans la partie S.-E. de l'île.

Le gommier (*Spermolepis rubiginora*) est impropre aux usages de la télégraphie.

Le coinite (*Elæcorpus*), l'acacia (*Albizzia*), peuvent remplacer le frêne de France. Ces bois, ainsi que le tamanou de montagne (*Calophyllum montanum*), présentent les mêmes avantages que le chêne-gomme.

On a employé le pin colonnaire (*Araucaria cookii*) qui se trouve le plus répandu sur la côte Est; il offre une grande résistance à la rupture; il est léger et liant, droit et mou étant vert, très dur étant sec; mais il aurait fallu le dépouiller de sa couche noueuse et ne faire servir que la partie inférieure du fuseau central que n'atteignent pas les nœuds. Cette préparation exige un trop grand travail et des sujets d'une grande hauteur.

Le kaori (*Dammara lanceolata*) qu'il faut aller chercher à une altitude de 600 mètres, ne dure en terre que trois ou quatre ans. Ces espèces (*Araucarias* et *Dammaras*) sont citées parce qu'elles donneraient de bons résultats si elles étaient injectées.

Dans les terrains mouvants exposés aux grands vents et aux inondations, la nature a placé des bois de fer de rivages (*Casuarima equisetifolia*), arbre assez droit

de 6 à 7 mètres, sans feuilles à rainures filiformes. Coupé, il est atteint de pourriture sèche en moins de trois ans. Il est dense, la vrille et la vis des isolateurs y pénètrent difficilement ou le fendent; il n'est employé que comme appui-vivant et son habitat le rend, sous ce rapport, très précieux, surtout pour le passage des cours d'eau qu'il domine. Les autres casuarimées croissant dans les plateaux ferrugineux offrent le même emploi à défaut de niaouli.

L'arbre à pain (*Artocarpus incisa*), fréquent sur la côte Est, résiste en terre plus de cinquante ans. Il n'est pas attaqué par les insectes; mais son fruit est trop précieux pour la nourriture des indigènes pour qu'on puisse songer à l'utiliser autrement.

On respecte aussi fidèlement les cocotiers dont le tronc mou subit sous l'action du vent de trop grandes oscillations pour servir d'appui.

Il en est de même des noyers de bancoul (*Aleurites triloba*), arbre droit, mais mou et de mauvaise conservation.

De jeunes houps (*Montrouziera spheræ flora clusiacees*) ont été employés pour la ligne de Naraï à Canala, le long des forêts élevées du centre de l'île; c'est un bois jaune, dur, nerveux, d'une excellente conservation, même à l'abandon et sans être écorcé.

Le tamanou de montagne (*Calophylleum montanum*) est un arbre très droit, qualité que n'a pas le *Calophylleum inophyllum.* Il abonde dans les endroits très élevés, en sol ferrugineux; il est très dur, très solide, difficile à forer; mais se conserve parfaitement, et, avec les espèces précédentes, est à utiliser pour les lignes traversant les forêts du centre de l'île à de grandes altitudes; il est réservé à l'ébénisterie. Parmi les cédrélacées, le *Flui-*

dersia fournieri est dans les mêmes conditions d'habitat et se travaille plus facilement; il est plus liant.

Outre l'abatage des bois pour poteaux, il a fallu procéder au débroussaillement sur une longueur de 12 mètres pour frayer le passage et permettre l'isolement des fils. Dans ce travail, les ouvriers frappaient indistinctement des espèces de caoutchoutier, comme le *Cerberiopsis candelabra* (*Apocynées*) et le *Sennecarpus atra* (*Anacardiacée*). La sève du premier au moment de la floraison fait enfler la peau et cause des dartres qui se dessèchent au bout de quelque temps; la sève du second produit des éruptions cutanées rebelles; le suc de l'écorce est un poison. Les lianes épineuses ne sont pas très nombreuses. Depuis quelques années, une plante de la famille des *Arbenacées*, le lantana, originaire du Brésil et d'importation récente, envahit la campagne et les terrains boisés; les tiges s'élèvent jusqu'à trois mètres; elles deviennent fortes, raides et serrées; elles sont hérissées de scabres ou pointes fines très pénétrantes. Les sections des surveillants, étant de 100 kilomètres de parcours à pied, sont parfois infestées par cette plante vivace dont la destruction est très difficile. Les élagages doivent être périodiques et fréquents.

Les bois de ce pays, comme ceux de la Guyane, sont sujets à se fendre et à se déjeter; ils exigent avant leur emploi une longue dessiccation; elle peut s'effectuer dans les dépôts à l'ombre, dans un endroit aéré, mais il faut que les bois aient été coupés à l'époque où la végétation est la moins active, c'est-à-dire immédiatement après la maturité des fruits ou avant l'apparition des fleurs et pendant les grandes chaleurs. On n'a jamais créé pour les poteaux que des dépôts très restreints, ces bois de-

vant être utilisés immédiatement et les transports étant très difficiles. C'est une nécessité dont on devra se préoccuper dans l'avenir.

Lorsqu'on s'occupera de la préservation des bois par injection, on trouvera sur place la matière nécessaire. Les oxydes de fer et les palétuviers, en si grande abondance, sur un grand nombre de points de la colonie, fourniront la solution de tannate de fer. L'écorce du *Khizophora mucronata* est exploitée en Nouvelle-Calédonie pour son tanin. Cet arbuste forme des massifs impénétrables dans les anses du littoral; il rompt la lame, assainit la vase et protège l'accumulation des terres d'alluvion. Les racines sortent du tronc au-dessus de l'eau et se ramifient comme les branches d'un candélabre renversé. Il diffère en cela du palétuvier sans racines aériennes (*Brugniera rumphii*) qui est plus grand, plus fort et plus dense, mais un peu moins riche en tanin. On trouve dans l'île, à l'état de minerai, le sulfate de cuivre; mais l'exploitation des mines de cuivre donne surtout à l'extraction des sulfates de cuivre chalespyrites carbonates. Le sulfate de cuivre exigerait une préparation plus coûteuse et plus difficile que celle du tannate de fer.

Le procédé employé dès les commencements, et encore en usage, s'est trouvé conforme aux indications données par M. Bourseul (*Annales télégraphiques*, mars-avril 1875). Je crois excellent le procédé de carbonisation par une dissolution étendue d'acide sulfurique sur la base légèrement chauffée du poteau. — Un mélange d'huile de ricin ou d'arachides récoltées dans le pays, cuites avec de la poudre de charbon de gaïac (*Accacia spirorbis*) ou mieux de palétuvier, sert d'enduit à froid ou à

chaud après une légère carbonisation à la partie à enterrer qu'elle dépasse 50 centimètres au-dessus du sol. La matière et le procédé sont faciles à employer partout.

Des essais persévérants méritent d'être poursuivis au chef-lieu.

Pour le moment on se contente d'appliquer sur les bois secs et légèrement carbonisés une couche de coaltar dépassant de $0^m,30$ la partie enterrée.

Dans le récipient contenant le coaltar, on plonge une barre de fer rouge qui rend le black très liquide et plus maniable; on obtient ainsi plus d'uniformité et plus d'adhérence et de rapidité dans l'application des couches.

En France on a recours à la carbonisation des poteaux, qui ne paraît pas leur assurer une protection supérieure à deux ou trois ans, et l'on a conservé les procédés d'injection au sulfate de cuivre, en exigeant des entrepreneurs une garantie de conservation d'au moins cinq ans; en outre l'enlèvement de l'écorce n'a lieu que quinze jours après l'injection. Ce procédé ne pourrait être adopté en Nouvelle-Calédonie en raison des conditions climatériques de ce pays où la température à l'ombre s'élève jusqu'à 39° dans la saison d'abatage. Les poteaux ne sont pas injectés et la coaltarisation n'ayant présenté que des avantages, elle a été maintenue et a justifié l'emploi des procédés indiqués plus haut.

Les essais de suspension au moyen d'anneaux sur des arbres vivants dans la traversée des forêts n'ont pas donné de bons résultats. Lorsqu'une rupture se produit, le fil détendu sort des anneaux sur une grande longueur et, au lieu d'avoir à réparer un accident localisé, on se trouve en présence d'un dérangement demandant beau-

coup de temps et de peine. Les inconvénients non prévus dans les essais de 1865 (*) ont fait renoncer à ce système.

La nature, la préparation et la conservation des appuis devront être considérées comme l'une des parties les plus importantes du service télégraphique; la question mérite d'être étudiée avec le plus grand soin, car les lignes électriques sont répandues dans toutes les régions du globe, sous toutes les latitudes, traversent les déserts brûlés, les plaines humides, les steppes glacées, les terrains dénudés et les forêts les plus épaisses.

La collection des bois à employer, la description des procédés de préparation, de conservation, les renseignements sur les qualités de ces bois selon les conditions climatériques, tels sont les éléments d'une étude à entreprendre dont les résultats seront importants et qui mérite de fixer l'attention.

(*) *Annales télégraphiques* de janvier-février 1876.

Nouméa, le 1er février 1881.

CONDITIONS NOUVELLES DE L'EMPLOI DU NICKEL

POUR

LES APPAREILS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES.

Au mois de juillet 1877, nous avions cru devoir indiquer, en vue des applications du nickel aux appareils électriques (*), la nature des gisements et de l'exploitation de ce métal dans la colonie française de la Nouvelle-Calédonie. Peu de temps après, cette industrie, à ses débuts, subissait des phases diverses dont le résultat fut un abandon presque complet des exploitations en cours. Cet état se modifia heureusement vers la fin de l'année 1880, le métal et ses alliages paraissant être définitivement entrés dans la consommation européenne.

Les mines de la Nouvelle-Calédonie alimentent les hauts-fourneaux du chef-lieu, qui peuvent produire environ 4.000 kilogrammes de fonte de nickel par jour, contenant 75 p. 100 de nickel sans soufre. Ces produits sont envoyés à l'usine de Septèmes (Bouches-du-Rhône) pour y être affinés. Nous avons dit que la propriété du nickel d'être magnétique, c'est-à-dire attirable par l'aimant, combinée avec l'inaltérabilité à l'air humide, devait contribuer à l'utilisation de ce métal. Ces propriétés magnétiques ont été analysées dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg, par M. Wilot (**).

(*) *Annales télégraphiques*, juillet-août 1877, page 310.
(**) *Annales télégraphiques*, septembre-octobre 1878, p. 556.

Ce mémoire avait été précédé des observations du colonel Goulier, à la suite de ses recherches sur l'emploi du nickel dans les boussoles en 1877. « On a trouvé, dit M. Goulier, que du nickel d'Allemagne du commerce contenait 10 à 12 p. 100 de fer, et le nickel d'Angleterre seulement 2 p. 100; aussi est-il désirable que les physiciens : 1° vérifient la grandeur de l'action magnétique qu'on a admise pour le nickel, et 2° recherchent pourquoi le nickel du commerce, qui est très magnétique, ne donne, par le maillechort, qu'un alliage inerte. Nous avons exposé, d'une part, que la composition des nickels calédoniens est exempte d'arsenic et, par suite, diffère totalement des nickels exploités ailleurs. Cette recherche devrait donc s'opérer sur les nickels affinés venant de la Nouvelle-Calédonie. »

D'autre part, nous avons signalé les essais faits par M. Duchemin, sur le transport de l'État la *Creuse*, de boussoles dont l'aiguille d'acier aimantée était remplacée par une série d'anneaux d'acier concentriques recouverts de nickel.

M. le ministre de la marine, sur le rapport de l'Académie des sciences, a décidé, en juin 1879, de soumettre à des essais à la mer, dans un grand voyage, une boussole à aiguille de nickel présentée par M. Wharton, de Philadelphie. En présence de ces considérations, la question de nickelage des aiguilles aimantées et des boussoles de la marine reste à définir.

La proposition d'employer le nickelage pour les paratonnerres a donné lieu à l'emploi de divers procédés déjà anciens. On a découvert depuis qu'on pouvait rendre le nickel parfaitement ductible et malléable, en y ajoutant dans les creusets en fusion une minime quantité de ma-

gnésium. Le nickel ainsi traité peut servir de revêtement, se forger, se modeler en une infinie variété. Il peut s'étirer en fils fins ou être laminé en feuilles excessivement minces. M. Garnier emploie comme désoxydant du nickel le phosphore qui empêche toute oxydation ultérieure.

Le nickel peut aussi s'appliquer comme préservatif d'oxydation sur les métaux et pourrait remplacer la galvanisation, qui peut être évaluée, pour des poteaux métalliques, à 12 ou 15 francs. Le nickel qui coûtait, il y a cinq ans, de 20 à 30 fr. le kilogr., peut s'obtenir aujourd'hui, pour une consommation indéfinie, à raison de 7 ou 8 fr. le kilogr. La nickelisation pourrait ainsi, en bien des cas, remplacer la galvanisation au cuivre.

Enfin le nickel massif est appelé, soit par lui-même, soit par ses alliages, à remplacer partiellement le fer. La *Revue des arts et manufactures* a exposé dernièrement les voies nouvelles dans lesquelles cette industrie était entrée.

A l'exposition universelle de 1878, plusieurs maisons françaises et anglaises avaient fait figurer des objets spécialement fabriqués pour des usages électriques. Les exposants de cette catégorie seront probablement beaucoup plus nombreux à la prochaine exposition internationale d'électricité, et l'examen sur place de bons produits contribuera certainement à développer les applications du nickel.

LE MIRE.

Nouméa, le 28 janvier 1881.

SUR LA MESURE ABSOLUE DES COURANTS

PAR L'ÉLECTROLYSE

NOTE DE M. MASCART

(*Comptes rendus.*)

Après avoir introduit dans la science un système de mesures absolues pour l'évaluation des grandeurs électriques, Weber a déterminé l'équivalent électrochimique de l'eau, c'est-à-dire le poids d'eau décomposée en une seconde par un courant dont l'intensité électromagnétique est égale à l'unité. En prenant comme unité le millimètre et la masse du milligramme, il a trouvé ainsi $0^{mgr}.009376$.

Cette expérience a été répétée par divers physiciens, entre autres par MM. Joule, Bunsen, Casselman, Cazin et Kohlrausch ; mais les résultats obtenus présentent des discordances qui dépassent 1 p. 100 de part et d'autre du nombre de Weber, et il peut rester quelques doutes sur la valeur exacte que l'on doit adopter aujourd'hui. J'ai été amené à reprendre cette détermination importante au point de vue des mesures absolues, et j'ai pris plusieurs dispositions nouvelles pour éliminer le plus possible les causes d'erreur qu'elle comporte.

L'expérience comprend deux parties distinctes : la mesure chimique et la mesure électrique du courant. Pour la première, j'ai cherché d'abord dans quelles conditions il convenait de se placer pour obtenir exactement le poids de l'eau décomposée par électrolyse. Après avoir

essayé différentes méthodes sur lesquelles il serait trop long d'insister, je crois que la plus précise consiste à placer dans le vide un voltamètre dont le liquide est rendu conducteur par l'acide phosphorique, avec des électrodes formées de fils fins en platine; on récolte les gaz par une pompe à mercure et l'on en mesure le volume à l'état sec. Dans ces conditions il ne se forme pas de traces sensibles d'ozone, comme l'a reconnu M. Berthelot, et il n'y aura aucune perte de gaz, soit par condensation sur les électrodes, soit par dissolution et diffusion dans le liquide ; les nombres ainsi obtenus sont parfaitement d'accord avec ceux que donnent les pesées directes de métaux.

Toutefois il est plus commode d'avoir recours à des pesées : le dépôt de cuivre dans une dissolution de sulfate de cuivre et celui de l'argent dans l'azotate d'argent donnent des résultats très exacts. L'argent est préférable, parce que, si l'expérience est bien conduite, avec des courants relativement faibles, on peut déterminer aussi la perte de poids de l'électrode soluble, et les deux nombres sont égaux à $\frac{1}{1000}$ près, ce qui fournit un contrôle très précieux.

Dans les expériences antérieures, la mesure électrique du courant a été faite le plus souvent au moyen d'une boussole des tangentes, ou au moins par des méthodes qui exigeaient la connaissance de la composante horizontale de la force magnétique terrestre. L'intervention du magnétisme est ici un intermédiaire qui complique inutilement les expériences.

J'ai employé une sorte d'électrodynamomètre qui comprend deux larges bobines plates disposées horizontalement et une longue bobine cylindrique suspendue à un plateau de balance. La base inférieure de la bobine mo-

bile se tient dans le plan de symétrie des deux premières, où l'action réciproque passe par une valeur maximum, ce qui donne une grande stabilité à l'équilibre. L'entrée et la sortie du courant, pour la bobine mobile, avaient lieu par des fils fins de platine contournés en hélice qui ne nuisaient pas à la sensibilité de la balance. Le fil des bobines est formé de cuivre très pur, les montures sont en bois et en carton.

Comme le courant éprouve une variation continue, qui était d'environ $\frac{1}{400}$ par minute, on notait les époques successives auxquelles l'équilibre avait lieu pour des charges variant de 10 milligrammes, et il était facile d'en déduire la valeur moyenne par une courbe graphique. Enfin on déterminait l'équilibre de la balance sans courant, avant le début, au milieu et à la fin de chaque expérience, afin d'éliminer l'effet très faible dû à l'échauffement des bobines.

Le poids d'argent a varié de 700 à 900 milligrammes dans des expériences qui duraient de vingt-cinq à quarante-cinq minutes, et l'action sur la balance était comprise entre 1.500 milligrammes et 4.000 milligrammes. Cette action P est proportionnelle au carré du poids p d'argent déposé par une unité de temps. J'ai trouvé, par exemple, pour le rapport $\frac{\sqrt{P}}{p}$, avec de l'argent très pur que je dois à l'obligeance de M. Debray, les nombres suivants :

	132,90
	132,82
	132,79
	132,80
	132,94
Moyenne. . .	132,85

Si l'on suppose les spires des bobines plates de même

rayon et dans le même plan, la section du cylindre mobile très petite et sa longueur très grande, l'intensité du courant s'exprime simplement en fonction des longueurs des fils, des nombres de tours, de la longueur du cylindre et de l'action exercée sur la balance. Le calcul est un peu long quand on veut tenir compte de la section du paquet de fils dans les bobines plates, du rayon de la bobine cylindrique et de l'action exercée sur la face supérieure, mais il ne présente pas de difficultés. La correction qu'il fallait apporter à l'évaluation approchée dans mon appareil n'atteint pas $\frac{1}{100}$, ce qui permet de faire le calcul très exactement par les premiers termes des développements en série. Avec le nombre 107,93, donné par M. Stas pour l'équivalent de l'argent, et en adoptant les unités de Weber, j'ai trouvé l'équivalent électrochimique de l'eau a pour valeur $0^{mgr},009373$. Ce résultat me paraît exact à moins de $\frac{1}{1000}$, et l'on voit qu'il est presque identique à celui que Weber a donné pour la première fois.

Si l'on adopte, au contraire, les unités pratiques de l'Association britannique, il en résulte qu'un courant dont l'intensité électromagnétique est représentée par 1 weber décompose en une seconde un poids d'eau égal à $0^{mg}.09373$ ou, plus généralement, une fraction égale à 0,010415 de l'équivalent d'un corps exprimé en milligrammes. L'intensité du courant capable de produire en une seconde l'électrolyse de $1^{éq}$ d'un corps exprimé en milligrammes serait donc égale à $96^{w},01$ ou sensiblement 96 werbers.

NOUVELLE MESURE DE L'OHM.

L'unité de résistance électrique la plus employée dans la pratique est l'*ohm*, unité mesurée et déterminée par une commission nommée à cet effet par l'Association britannique, et qui représente 1.000 millions d'unités absolues (centimètre, masse du gramme, seconde).

Les différentes mesures de vérification qui ont été prises dans ces dix-huit dernières années, ont fait penser que la valeur absolue de l'ohm n'a pas encore été exactement déterminée. M. Kohlrausch regarde que la mesure qui en a été donnée est de 2 p. 100 plus forte qu'elle ne devrait être d'après sa définition. M. Rowland croit, au contraire, qu'elle est de 1 p. 100 trop petite, et M. Weber la considère comme exacte. Pour fixer définitivement ce point scientifique, lord Rayleigh, aidé de plusieurs savants de Cambridge appartenant au laboratoire de Cavendish, a repris les travaux de mesure entrepris par la commission de l'Association britannique, en employant les appareils primitifs, et il est arrivé à des résultats intéressants que nous allons exposer.

La première méthode de mesure, qui avait été indiquée par sir W. Thomson, consistait à donner à une bobine de fil isolé constituant un circuit fermé, un mouvement de rotation suivant son axe, disposé verticalement, et à observer la déviation d'un aimant suspendu à son centre (*). La déviation qui se produit alors est due aux

oir le numéro des *Annales télégraphiques*, de mai-juin 1880.

courants qui se développent dans l'hélice, sous l'influence du magnétisme terrestre, et le total de cette déviation étant indépendant de l'intensité du magnétisme terrestre, elle varie seulement en raison inverse de la résistance du circuit. Pour simplifier la question, considérons la largeur de la bobine comme infiniment petite par rapport à son rayon a, et supposons que n représente le nombre de tours du fil enroulé. Si l'intensité de la composante horizontale du magnétisme terrestre est H, il se développera dans chaque demi-révolution de la bobine, $n\pi a^2 H$ lignes de force magnétique, qui devront s'additionner ou se retrancher suivant le cas. Si la vitesse angulaire de la bobine est ω, on aura $2\omega a^2 H n$ lignes qui devront être ajoutées ou soustraites toutes les secondes, ce qui sera l'expression des sommes des forces électromotrices positives ou négatives qui agissent sur la bobine. La moyenne positive ou négative de la valeur du courant est $\frac{2\omega a^2 H n}{R}$, si R est la résistance de la bobine. Le courant, il est vrai, est renversé à chaque demi-révolution, mais il tend toujours à agir de la même manière sur l'aimant, pendant la rotation. Si l'aimant a pour moment magnétique M, et que la déviation soit φ, il est facile de voir que le courant agissant sur le couple aura pour expression

$$\frac{\omega\pi^2 a H n^2 M \cos\varphi}{R}.$$

Le couple égal et opposé provenant du magnétisme terrestre étant $HM \sin\varphi$, on en déduit :

$$R = \pi^2 a n^2 \omega \operatorname{tang}\varphi.$$

Les effets à observer avec cette méthode de mesure sont tous d'une nature constante, mais la plupart des déterminations qui ont été faites dépendaient de l'usage

qu'on faisait de galvanomètres balistiques, et les effets observés étaient toujours passagers. Or les lecteurs du mémoire présenté il y a peu de temps à la Société royale de Londres, par lord Rayleigh et M. Schuster, pourront reconnaître combien sont grandes les difficultés que l'on rencontre dans la mesure de l'ohm, par les différentes méthodes jusqu'ici employées.

Il est facile de voir, par les formules qui ont été données précédemment, que la théorie qui a été indiquée est très simple en elle-même : toutefois elle l'est beaucoup moins quand on arrive à l'expérimentation. Ainsi, on reconnaît que, quand l'espace occupé par le fil de la bobine est considérable, l'expression mathématique qui représente les effets magnétiques produits à son centre par le courant servant d'unité, comporte, en réalité, une infinité de séries. Il y a encore à considérer que le courant étant renversé à chaque révolution de la bobine, et ses effets étant diminués ou retardés par leur induction propre, les corrections qu'il faut apporter comportent un calcul d'un genre très difficile et compliqué. Il faut aussi introduire d'autres corrections si l'aimant n'est pas exactement au centre de la bobine, si l'axe de rotation n'est pas parfaitement vertical, sans parler de celles qui se rapportent aux altérations de résistance que le fil peut éprouver à la suite d'un léger échauffement, aux courants circulant dans le bâti supportant l'appareil, aux effets perturbateurs exercés par l'air environnant sur l'aimant (effets qui se produisent malgré que cet aimant soit enfermé dans une petite caisse), enfin, aux variations de la déclinaison magnétique qui peuvent se produire dans le cours des expériences.

Lord Rayleigh a modifié, dans plusieurs de ses parties principales, l'appareil primitif. Le petit miroir qui

était ordinairement placé à l'intérieur de la bobine et qui était attaché à l'aiguille au moyen d'un fil de cuivre, est maintenant tout près de l'aiguille elle-même, et, en réalité, toute la suspension de l'aimant se trouve changée. De plus, des pièces isolantes ont été incrustées dans le bâti du support de l'appareil pour permettre de le disposer quelquefois en court circuit, ce qui se fait au moyen de bouchons de cuivre, comme dans les commutateurs à cheville. On a reconnu que, par l'emploi de ces courts circuits, on diminuait la déviation de l'aiguille dans le rapport de 1/600[e]. D'un autre côté, au lieu d'effectuer à la main la rotation de l'appareil, soumis à l'action d'un gouverneur, comme l'avait fait la commission, on le met en mouvement au moyen d'une petite turbine actionnée par l'eau d'une citerne, et l'on observe à chaque instant la vitesse produite par la méthode du *stroboscope*, la personne qui mesure cette vitesse la réglant en appuyant le doigt sur la corde de transmission du mouvement. On dépensa inutilement beaucoup de temps et de travail pour enrouler à nouveau la bobine, parce que la déviation de l'aiguille n'était pas à beaucoup près proportionnelle à sa vitesse de rotation, et qu'on avait fait de cela un argument contre les résultats obtenus par la commission de l'Association britannique. On prétendait, en effet, qu'il devait résulter de ce défaut de proportionnalité que le coefficient de l'induction propre de la bobine, qui avait été déterminé, était entaché d'erreur. Le professeur Clerk Maxwell a montré, du reste, comment cette induction propre de la bobine pouvait être calculée, et une grande partie du mémoire de lord Rayleigh rapporte ces recherches; mais il établit que la manière dont varient les déviations de l'aiguille à différentes vitesses de l'appareil permet de faire la correction de

l'induction, sans avoir à s'occuper du coefficient en question. Il montre, cependant, qu'il existe une méthode expérimentale facile, pour trouver le coefficient d'induction L, propre à toute bobine dont la résistance est P; la théorie en est très simple.

Supposons que cette résistance P soit équilibrée dans un pont de Wheatstone avec des bobines inductrices de résistance Q, R, S, de manière que si $PS = QR$ quand le circuit de la batterie est fermé avant celui du galvanomètre, aucun effet ne soit produit sur ce dernier. Si maintenant P devient $P + dP$, l'effet d'augmentation pourra être annulé par la production dans la branche P d'une force électromotrice d'une valeur de dPn, valeur dans laquelle n indique la grandeur du courant dans cette branche avant que le changement soit fait. Du moment où les forces électromotrices agissent indépendamment, l'effet produit sur le galvanomètre par P et $P + dP$ est le même, comme le serait celui produit par dPn, agissant sur la branche P, s'il n'existait pas dans la branche de la batterie une force électromotrice.

Admettons toujours que la résistance est P, et établissons maintenant le contact avec le galvanomètre avant celui de la batterie : il n'y aura pas alors de courant permanent à travers le galvanomètre, mais, au moment de la fermeture du courant, il se développera une action d'induction qui opposera un obstacle au passage du courant à travers P, et qui créera un courant passager à travers le galvanomètre; la grandeur de cette force électromotrice contraire sera simplement Ln. Il est facile de déduire d'après cela la règle pratique pour calculer le coefficient d'induction propre à la bobine. Il suffit pour cela d'employer un galvanomètre très sensible et un pont de Wheatstone que l'on équilibre par les moyens ordi-

naires, le commutateur de la batterie étant mis en jeu avant celui du galvanomètre. Puis on répète l'opération en sens inverse, c'est-à-dire qu'on abaisse le commutateur du galvanomètre avant celui de la batterie, et l'on observe le courant passager qui est indiqué par l'aiguille du galvanomètre. On intercale une résistance additionnelle dP dans le circuit P, et après avoir abaissé le commutateur de la batterie avant celui du galvanomètre, comme cela se pratique généralement, on prend une première mesure β, indiquée par l'aiguille. On mesure aussi le temps T d'une demi-oscillation *complète* de l'aiguille, et l'on a alors

$$L = dP \frac{T}{\pi} \frac{2 \sin \frac{1}{2}\alpha}{\operatorname{tang} \frac{1}{2}\beta}.$$

On ne peut donc pas douter que la valeur de L, dont s'est servie la commission de l'Association britannique, ne soit trop petite. Le professeur Rowland, tout en semblant connaître la cause de l'erreur, prétend que si, dans les premières expériences faites, on regarde la cause inconnue de l'erreur comme étant proportionnelle au carré de la vitesse et qu'on l'élimine, on arrive à trouver une valeur de l'ohm qui diffère d'une manière très appréciable de celle qui a été adoptée nominativement.

Si l'on représente comme résultat des expériences de la commission de l'Association britannique l'expression

$$0,9926 \times 10^9 \text{ unités CGS},$$

les expériences de M. Rowland donneraient la valeur suivante

$$0,9911 \times 10^9 \text{ unités CGS}.$$

Le résultat final des expériences faites au laboratoire Cavendish a démontré que la bobine étalon qui semble

avoir subi le moins d'altérations et que l'on nomme *ohm*, a une résistance égale à

$$0{,}9895 \times 10^9 \text{ unités GSC.}$$

Le mémoire si intéressant qui renferme tous ces résulsultats expose d'une manière complète la théorie de la méthode de mesure de lord Rayleigh, et renferme des détails d'observations récentes accompagnées d'exemples de corrections indiquées par M. Schuster.

WH. AYRTON ET JOHN PERRY.

NOTICE

SUR LES ESSAIS ÉLECTRIQUES

DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

I.

OBJET DES MESURES.

L'emploi, tous les jours plus général, d'appareils rapides à organes délicats, de transmissions simultanées, de systèmes multiples, a conduit les électriciens à attacher une grande importance à certaines propriétés des lignes télégraphiques, dont on avait pu ne point tenir compte tant que le morse ou d'autres appareils également simples avaient été les seuls en usage.

L'étude théorique de l'électricité ayant réussi à discerner, parmi les phénomènes qui venaient troubler le jeu naturel des instruments perfectionnés, ce qui était inévitable et ce qui pouvait être prévenu, posa les principes, formula les règles à suivre, montra le but à atteindre. Ensuite l'expérience, éclairée de ces lumières, soumit à l'épreuve de la pratique les indications de la théorie, et détermina dans quelle mesure il était nécessaire de s'y conformer, dans quelle mesure il était possible de s'en départir pour satisfaire à d'autres nécessités. Ce sont ces résultats, fruit d'une observation attentive, qui figurent comme conditions dans les cahiers des charges.

Les mesures ont pour objet — en cours de travaux, de vérifier que la construction s'exécute d'une façon régulière — et, lorsque les lignes sont achevées et livrées au service, de s'assurer de leur état de conservation, de reconnaître dès leur apparition les défauts qui s'y produisent ; enfin, de fournir des données qu'il est indispensable de connaître pour tirer d'un réseau tout le parti possible.

Avant d'entrer dans le détail des opérations de mesure, il est utile de rappeler sur quelles propriétés doivent porter les essais, et en quoi consistent ces propriétés.

1° *Résistance de conductibilité.* — Pour peu que l'on dispose d'une pile et d'un galvanomètre, même le plus grossier, il est aisé de constater que tous les corps que l'on peut placer dans le circuit de la pile ne jouissent pas au même degré de la propriété d'obstruer le passage à l'électricité ; que pour une même espèce de conducteurs, cette propriété croît avec la longueur, et que pour des conducteurs d'espèces différentes, elle dépend du diamètre, de la température, de la nature de la substance. Cette propriété est susceptible de comparaison d'un corps à un autre et par suite de mesure : on pourra, par exemple, prendre pour type un fil métallique d'une substance et d'un diamètre déterminés et chercher quelle longueur de ce fil il faut substituer à un corps dans le circuit de la pile pour obtenir la même indication du galvanomètre ; et alors on sera en droit de dire que la résistance du corps, ou sa propriété d'obstruer le passage au courant, est la même que celle de cette longueur de fil. Ou bien, puisque les résistances de différentes longueurs de fil sont proportionnelles à ces longueurs, on pourra dire que la résistance du corps est égale à celle de tant d'unités de longueur du fil. La résistance

d'un corps quelconque aura donc pour mesure le nombre d'unités de longueur d'un certain fil qui présentent la même résistance. C'est ainsi qu'on dit : une ligne a une résistance de tant. On verra plus loin (voir *Baisses de résistances*), quel est l'inconvénient d'un pareil langage, et comment il est préférable de s'exprimer.

Cette notion de résistance s'étend aussi bien à une masse liquide qu'à un fil de métal, et l'on a fréquemment à mesurer la résistance qu'une pile oppose au passage du courant qu'elle-même produit. Cette résistance est désignée sous le nom de résistance intérieure de la pile, et peut se représenter aussi par une certaine longueur du fil pris pour type.

2° *Résistance d'isolement.* — Les matières isolantes ne sont jamais tellement parfaites qu'elles n'offrent un passage à l'électricité. Ce courant, cette fuite qui se produit à travers la masse diélectrique peut être observée, et détermine au galvanomètre une certaine déviation, que l'on pourra reproduire en introduisant dans le circuit de la pile une certaine longueur, très considérable, de notre fil type. Cette longueur représentera la résistance d'isolement de la matière : on trouvera ainsi qu'un bout de câble télégraphique, d'une longueur de 12 kilomètres, présente une résistance égale à celle de 100.000 kilomètres, par exemple, de notre fil. Or il est clair que, si ce câble fuit également en tous ses points, plus il sera long, plus sa *perte* sera considérable, ou bien, ce qui revient au même, plus sa résistance sera faible ; et dans le cas actuel, la résistance d'isolement d'un kilomètre de câble, sa *résistance kilométrique*, sera 12 fois plus forte que sa *résistance totale d'isolement*. Elle sera donc de 1.200.000 kilomètres de fil type.

Au lieu d'être continue, la fuite peut ne se produire

qu'en certains points, par les isolateurs humides d'une ligne aérienne, par exemple. On pourra néanmoins mesurer la résistance totale d'isolement, la résistance kilométrique, et, si l'on connaît le nombre des isolateurs par kilomètre, la résistance moyenne d'un isolateur.

Les appareils mêmes qui servent aux mesures ont des défauts et peuvent offrir un passage à l'électricité. La *perte* des appareils se mesure aisément par les mêmes moyens qui servent à mesurer celle de la ligne : il suffit de mettre les appareils seuls dans le circuit d'expérience.

Enfin on peut avoir à déterminer la fuite en un point particulier d'une ligne, à une soudure d'un câble par exemple. Dans ce cas on est obligé de recourir à des moyens un peu différents de ceux qui servent dans les cas précédents, mais le résultat, c'est-à-dire la résistance d'isolement de cette soudure, peut toujours s'exprimer par un certain nombre d'unités de longueur du fil type.

De même qu'un liquide pénétrant dans un vase à parois poreuses commence par imprégner ses parois, puis s'écoule au dehors d'une manière régulière; l'électricité, au moment où l'on envoie le courant dans un câble d'une certaine longueur, pénètre d'abord dans toute la masse du diélectrique, et ne prend qu'ensuite son état de régime, en ce qui concerne la perte à travers l'enveloppe isolante. Il en résulte que, dans les premiers instants, la perte paraît bien plus grande qu'un peu plus tard, et par suite, avec les nombres donnant l'isolement, on doit toujours mentionner depuis combien de temps durait l'envoi du courant, ou l'électrification, quand on a fait la mesure. Les mesures sont faites d'habitude après une ou après deux minutes d'électrification.

3° *Capacité électrostatique.* — Le mouvement de l'électricité le long d'un conducteur donne lieu à une remarque

analogue à celle que nous venons de faire. Avant que l'électricité s'écoule à l'extrémité du fil et y fasse fonctionner les appareils, il faut qu'elle remplisse en quelque sorte le conducteur, ou plus exactement, que ce conducteur prenne une certaine charge. Le temps nécessaire est très court; mais la charge de la ligne est un élément important à divers égards. On appelle capacité électrostatique d'une ligne, la propriété qu'a cette ligne de prendre une charge, et l'on dit que la capacité est double, triple, etc., si, pour une même pile, la charge prise est double, triple. C'est donc la charge qui sert de mesure à la capacité. Dans le même sens, on parle de la capacité d'un condensateur, et, comparant les capacités des lignes à celle d'un condensateur pris pour étalon, on dit qu'elles sont doubles, triples, etc., de celle du condensateur. On verra plus loin (voir *Condensateurs*) quel est le condensateur que l'on a pris pour étalon.

Il est clair, d'ailleurs, que plus le fil est long, plus sa capacité est grande, et que sa *capacité kilométrique* est le quotient de sa *capacité totale* par sa longueur.

Force électromotrice des piles. — Lorsqu'on tient compte uniquement de l'effet électrique produit, deux éléments de pile de modèles différents se distinguent l'un de l'autre par deux propriétés: — la résistance, dont la nature a déjà été expliquée, et qui, pour une combinaison d'éléments chimiques donnée, dépend de la forme, de la grandeur, de l'écartement des électrodes, de la température de la pile, de la concentration des liqueurs; — la force électromotrice, qui dépend essentiellement des éléments chimiques en présence, et par suite des substances qui ont servi à former la pile, et de celles qui ont pris naissance ultérieurement par l'action mu-

tuelle des premières; la force électromotrice d'un élément d'espèce donnée peut varier, à partir de l'instant où l'élément a été construit, par suite :

1° Des actions chimiques qui peuvent se produire lorsque la pile ne travaille pas; on sait, par exemple, qu'une pile Callaud est mise hors de service presque aussi rapidement, qu'elle soit ou non mise en circuit; au contraire une pile Leclanché se conserve indéfiniment si l'on ne la fait point travailler;

2° Des réactions qui fournissent le courant, lorsque le circuit est fermé. Ainsi dans la pile Callaud, la solution de sulfate de cuivre se transforme peu à peu en sulfate de zinc; or un couple présentant la combinaison : cuivre, sulfate de cuivre, zinc, se comporte tout autrement qu'un couple : cuivre, sulfate de zinc, zinc;

3° Des réactions secondaires qui s'établissent entre les produits de la décomposition précédente entre eux ou avec les substances primitivement introduite dans l'élément.

D'autres causes encore influent à divers degrés sur la force électromotrice des piles : telles sont des différences de températnre ou de concentration des liqueurs en différents points de la pile.

Toutes ces difficultés ont empêché jusqu'à présent de construire des éléments étalons donnant l'unité de force électromotrice correspondante aux unités adoptées de résistance et de capacité. Cette unité, le volt, est un peu inférieure à la force d'un élément Daniell au sulfate de cuivre, un peu supérieure à celle d'un élément au nitrate de cuivre.

Par suite, chaque fois que l'on entreprend une série de mesures impliquant la connaissance de la force électromotrice des piles dont on se sert, il est nécessaire de

les comparer à nouveau avec un élément spécialement réservé à cet usage, et offrant, par son choix et par les soins dont il est l'objet, les garanties de constance les plus grandes que l'on puisse réaliser. Dans ce but, on se sert généralement d'éléments au sulfate d'oxydule de mercure, de Clark, ou au chlorure d'argent de Warren de la Rue.

II.

INSTRUMENTS DE MESURE.

Galvanomètres. — Une aiguille aimantée mobile autour d'un axe, un cadre garni de fil isolé placé dans le voisinage de l'aiguille et l'écartant de sa position de repos lors du passage d'un courant, un dispositif permettant de mesurer les déviations, constituent les éléments essentiels d'un galvanomètre. Les dispositions adoptées dans les appareils les plus parfaits n'ont eu d'autre but que de rendre plus aisés les mouvements de l'aiguille, donner au courant son maximum d'effet, accroître la précision des lectures.

L'aiguille est gênée par l'action directrice de la terre qui tend à la maintenir dans une orientation constante, par les résistances passives de son support (frottement pour les pivots, rigidité de torsion pour les suspensions, etc.); enfin, plus l'aiguille est lourde et plus elle est lente, soit à se mettre en mouvement, soit à revenir au repos.

On la soustrait à l'action directrice de la terre en la formant de deux barreaux aimantés parallèles, égaux, reliés invariablement par une tige légère d'aluminium, et placés dans cette monture de façon à présenter en regard des pôles de noms contraires; un système ainsi

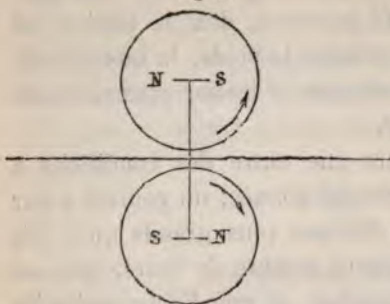
construit est dit astatique, et reste en équilibre dans n'importe quelle orientation. L'aiguille est suspendue par un brin très fin de fil de cocon, dont la torsion est très faible ; enfin, pour réduire le poids, la monture de l'aiguille est faite en aluminium, et les barreaux aimantés sont de peu de longueur.

Mais ici l'on rencontre une autre des conditions à satisfaire : pour une intensité donnée, un courant a sur une aiguille une action d'autant plus grande qu'il fait autour d'elle un plus grand nombre de tours, que ces tours en sont plus rapprochés, et que l'aimantation de l'aiguille est plus énergique. Raccourcir les barreaux aimantés nous permet d'alléger l'aiguille, de restreindre l'espace vide laissé à l'intérieur du cadre et, par suite, de rapprocher les premiers tours de fil ; mais à trop diminuer les dimensions de barreaux, on diminue aussi leur aimantation. On tourne cette difficulté en formant le système astatique, non plus de deux barreaux, mais de deux groupes de petites aiguilles : on sait, en effet, que les parties extrêmes d'un aimant sont seules actives, et que la région neutre s'étend assez loin vers les bouts ; il y aura donc dans un barreau long une masse de fer importante qui ne produira aucun effet, et, pour un même poids de métal, sous forme de petites aiguilles, on pourra obtenir, avec un moindre diamètre de l'évidement intérieur et un moindre moment d'inertie du système mobile, une intensité magnétique plus considérable.

L'aiguille, astatique par rapport à la terre, le serait aussi pour un courant linéaire passant au-dessus ou au-dessous des deux systèmes de barreaux (*fig.* 1). Au contraire, un courant linéaire passant entre les deux systèmes exercera sur les deux des actions de même sens qui

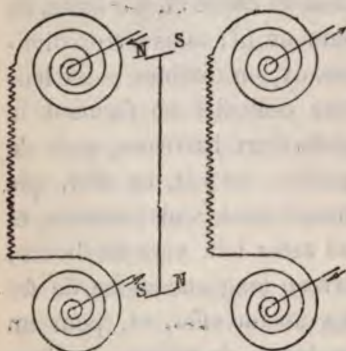
'ajouteront : l'action du courant sur deux systèmes est bien mieux utilisée encore s'il tourne autour du premier dans un certain sens, puis autour du second en sens contraire. C'est de cette manière que sont enroulées les bobines des galvanomètres Thomson.

Fig. 1.



Dans certains cas, il peut être avantageux de connaître, non pas la valeur absolue de l'intensité d'un courant, mais la différence entre cette intensité et celle d'un autre courant. On emploie alors des galvanomètres comportant deux circuits semblables l'un à l'autre, mais indépendants; et l'on fait passer les deux courants à comparer l'un dans un des circuits, et l'autre dans l'autre, mais en sens inverse du premier. Il est clair que dans ces conditions l'aiguille n'est soumise qu'à la différence des actions qu'exercerait sur elle chacun des courants pris séparément. Les arrangements différentiels sont de diverses natures : tantôt on enroule deux fils à la fois sur chaque cadre galvanométrique ; tantôt on oppose les actions de deux bobines égales, et placées de part et d'autre de l'aiguille. Ainsi dans les grands galvanomètres Thomson

Fig. 2.



à quatre bobines, les deux bobines antérieures forment un circuit que l'on oppose à celui des deux bobines postérieures : les deux circuits peuvent d'ailleurs être réunis bout à bout de façon à ajouter leurs effets dans un circuit unique.

La lecture d'une déviation est d'autant plus précise qu'elle se fait sur un cercle de plus grand rayon : mais pour les raisons indiquées plus haut, on a dû s'interdire de monter sur l'aiguille un index de grande longueur. On a eu alors l'idée de coller sur l'aiguille un petit miroir très léger; une lampe envoie sur ce miroir un rayon de direction constante, qui, rencontrant le miroir sous une incidence dépendant des mouvements de l'aiguille, se réfléchit en faisant avec sa direction initiale un angle variable. Le rayon réfléchi est reçu sur une échelle, il y forme une image lumineuse qui sert d'index pour les lectures. Ce procédé présente donc deux avantages : on peut augmenter à volonté le rayon du cercle sur lequel se font les lectures, sans alourdir l'aiguille, et dans ce cercle les déviations de l'aiguille sont doublées par suite de la réflexion. Les moindres mouvements peuvent donc être aisément et sûrement observés.

Dès lors, on restreint les écarts de l'aiguille à des amplitudes très faibles, dans les limites desquelles les arcs se confondent avec leurs tangentes et peuvent être pris pour mesure des intensités des courants, supprimant ainsi les réductions et les calculs numériques auxquels donnait lieu l'emploi des boussoles de sinus ou de tangentes.

Cette condition de n'opérer que sous de très petits angles, qui est réalisée d'elle-même pour les courants faibles, ne peut être satisfaite pour les courants énergiques qu'au moyen de l'artifice bien connu des dérivations. Un fil qui joint l'entrée et la sortie du galvano-

mètre offre à l'électricité un passage secondaire à côté du passage principal par les bobines du galvanomètre. Les lois des courants électriques permettent d'ailleurs de déterminer ce que doit être ce fil pour ne laisser passer dans le galvanomètre qu'une portion déterminée du courant. Généralement les galvanomètres sont accompagnés d'une caisse renfermant des fils choisis de manière à ne laisser passer dans le galvanomètre, quand ils sont mis en dérivation sur lui, que le 1/10, le 1/100 et le 1/1000 du courant total. Cette caisse est désignée sous le nom anglais de *shunt*. Les formes données à ces caisses sont assez variables : elles présentent toujours deux massifs de cuivre portant des bornes à contre-écrous, où viennent s'attacher les fils du galvanomètre et des autres appareils ; puis trois autres massifs portant les mentions 1/9, 1/99, 1/999, et susceptibles d'être reliés par une cheville à l'un des deux précédents. Lorsqu'on met cette cheville, on ne laisse plus passer au galvanomètre que le 1/10, le 1/100 ou le 1/1000 du courant. La cheville placée entre les premiers massifs, il ne passe plus rien au galvanomètre qui est dit hors circuit.

Comme il est impossible, quelque soin qu'on y mette, d'obtenir des systèmes rigoureusement astatiques, on ajoute au galvanomètre un aimant directeur, c'est-à-dire un barreau aimanté mobile, dont on règle la position de manière à orienter convenablement l'aiguille du galvanomètre.

Caisses de résistance ou rhéostats. — Une série de bobines étalonnées, représentant divers multiples d'une unité de résistance déterminée, constituent un rhéostat. L'unité de résistance a été choisie d'après des considérations qu'il ne nous appartient pas de rappeler ici, qui n'ont d'ailleurs aucune importance au point de vue de

la pratique des mesures. Pour nous, l'étalon est la bobine marquée 1 dans notre boîte, et il nous suffit de savoir que cette bobine a été faite aussi semblable que possible à toutes les autres bobines portant la même mention 1 dans d'autres caisses; nos mesures seront donc comparables à celles d'autres observateurs. C'est ce qui n'a plus lieu, si l'on donne des évaluations en *kilomètres de ligne*, en unités (sans spécifier lesquelles), etc. Les unités employées sont tantôt l'unité Siemens, tantôt celle de l'Association britannique ou ohm.

Les bobines des rhéostats sont faites avec un fil enroulé en double, afin de prévenir les effets d'induction; les deux bouts du fil aboutissent à des massifs de cuivre montés sur le couvercle en ébonite de la boîte. Dans certaines caisses, les bobines forment un circuit continu; les massifs de cuivre auxquels elles aboutissent peuvent être reliés par des chevilles; et il est clair que si l'on place une cheville entre les massifs auxquels aboutit une bobine, on forme entre les extrémités de cette bobine une dérivation sans résistance; on met donc la bobine hors circuit. Il y a donc dans ces caisses autant de chevilles que de bobines, et *l'on débouche les résistances que l'on veut introduire*. Dans d'autres modèles, les bobines sont placées à la file les unes des autres, sans former de circuit fermé : c'est l'introduction d'une cheville qui ferme le circuit, et l'on *bouche les résistances que l'on veut introduire* : le nombre des chevilles peut alors être réduit à quatre, si la résistance totale de la caisse est de 10.000 ohms, comme c'est l'habitude.

En général, les caisses sont disposées en vue de l'expérience dite du *pont de Wheatstone* : elles renferment alors, en sus des résistances proprement dites, deux séries de bobines étalonnées appelées branches du pont.

Dans les expériences de précision, il est nécessaire de noter la température et d'en tenir compte pour corriger les indications lues sur la caisse.

Condensateurs. — Un condensateur est formé par deux séries de lames métalliques séparées par un diélectrique. Toutes les lames d'une même série communiquent entre elles : leur nombre est variable et dépend de la capacité que l'on veut donner à l'instrument. Le diélectrique est en général en mica ou du papier imprégné de paraffine.

On a des condensateurs étalons, dont la capacité, choisie pour unité de capacité d'après certaines considérations théoriques, a reçu le nom de microfarad (du physicien anglais Faraday). On exprime donc la capacité d'une ligne, par comparaison avec celle de ces condensateurs, en disant qu'elle est de tant de microfarads.

Clefs ou manipulateurs. — Différentes sortes de clefs sont nécessaires, pour chacune desquelles il existe de nombreux types peu différents les uns des autres. Nous nous contenterons donc de donner l'énumération avec une description sommaire des appareils indispensables.

Clef de simple contact. — C'est un simple ressort (*fig.* 3) portant une enclume qui vient toucher un contact platiné lorsqu'on appuie sur la clef. Elle sert généralement comme clef de pile.

Fig. 3.

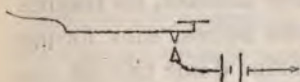


Fig. 4.



Clef de galvanomètre. — Presque semblable à la précédente, c'est dans la position de repos que l'enclume touche son contact (*fig.* 4), permettant ainsi d'établir une dérivation sans résistance en avant

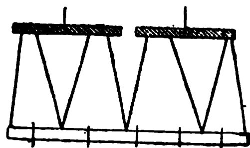
du galvanomètre, de l'enclume au talon du ressort. Un dispositif permet de maintenir la clef abaissée.

Clef de décharge. — Levier mobile entre deux contacts, l'un supérieur, l'autre inférieur, et pouvant, par un artifice mécanique quelconque, être mis en prise avec l'un ou l'autre, ou être maintenu dans une position intermédiaire dite d'isolement. Utilisée principalement pour les mesures de capacité électrostatiques : les types les plus communs sont les clefs de Webb et de Sabine.

Clef à inversion de courant. — Comme le nom l'indique, c'est un manipulateur inverseur, pourvu d'un organe qui permet de fixer l'appareil sur l'un ou l'autre contact. Cette clef sert surtout comme commutateur inverseur et peut être remplacée par tout autre appareil de ce genre.

Les commutateurs, dont il est fait grand usage dans les installations permanentes, doivent être l'objet d'une surveillance attentive. N'étant point aussi en vue que les autres appareils, ils sont sujets à se couvrir de poussières qui établissent de fausses communications, d'humidité qui détermine des pertes le long des parties isolantes, d'oxydes qui empêchent les contacts de s'établir. Il est préférable de ne point les multiplier; et si l'on en emploie, une des meillleurs formes est celle ou chaque pièce de métal est montée sur deux longues colonnes d'ébonite, sans feuille de matière isolante courant au-dessous des pièces de métal (*fig.* 5).

Fig. 5.



(*A suivre.*)

SÉLIGMANN-LUI et TONGAS.
Sous-ingénieurs des télégraphes.

SYSTÈME ÉLECTRIQUE

D'ENREGISTREUR AUTOMATIQUE DES VOTES

A L'USAGE DES ASSEMBLÉES DÉLIBÉRANTES (*).

PAR M. SAINT-ANGE DAVILLÉ
Receveur des Postes et Télégraphes

L'ensemble du système comprend :

1° Deux tables de vote;

2° Autant de piles de un ou deux petits éléments qu'il y a de votants;

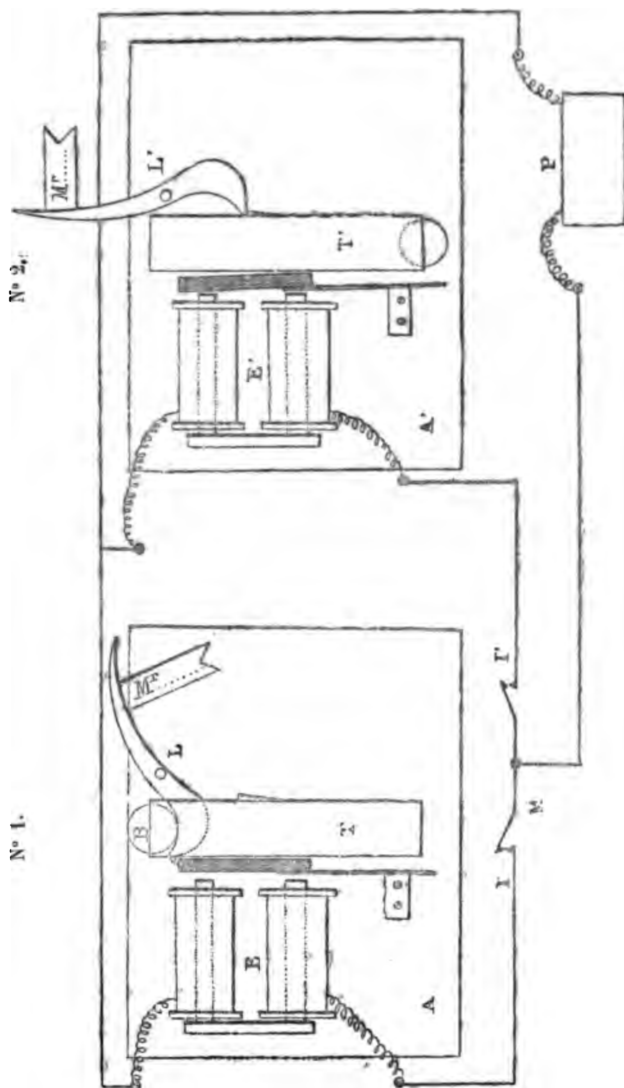
3° Des fils de communication;

4° Un nombre d'appareils, tels que celui qui va être décrit, double du nombre des votants; moitié pour les *Oui*, sur une table, moitié pour les *Non*, sur l'autre table.

Appareil électrique. — L'appareil se compose d'une plaque métallique de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, de 8 centimètres de hauteur et de 12 de longueur, A et A' (voir la figure ci-jointe), placée sur champ et sur laquelle se trouvent adaptés : 1° un électro-aimant E ; 2° son armature; 3° un tube T de 10 à 11 millimètres de diamètre intérieur, fendu à sa partie supérieure et contre lequel vient s'appuyer l'armature; 4° un levier L d'une forme

(*) Plusieurs appareils destinés au même but ont été décrits dans les présentes *Annales*, numéro de janvier-février 1875.

particulière, pivotant autour d'un point fixe et dont un des deux moitiés, un peu plus lourde que l'autre, s'engag



dans les fentes du tube, et est maintenue horizontalement au moyen d'une petite pointe qui appuie sur la partie supérieure de l'armature et retombe dès que celle-ci est attirée par l'électro-aimant; il passe alors de la potion n° 1 à la position n° 2 de la figure. Sur la partie supérieure et concave de cette branche du levier repose une boule B qui, au moment où ce dernier prend la position verticale, s'engage dans le tube T, en ressort par l'extrémité inférieure. Elle tombe alors sur un plan incliné qui la conduit dans un second tube fendu longitudinalement, gradué et qui est placé diagonalement sur l'un des grands côtés de la table et n'est pas représenté dans la figure.

Pour replacer les leviers, lorsque, ayant fonctionné, ils se trouvent dans la position n° 2, dans leur position horizontale, afin qu'ils soient prêts à recevoir de nouveau les boules et à fonctionner, il suffit d'appuyer sur le sommet en l'inclinant pour le ramener au niveau de la plaque métallique; au moyen d'une règle un peu forte on peut faire reprendre leur position horizontale, en quelques secondes, à tous les leviers à la fois, ainsi qu'il sera expliqué en parlant du couvercle pour le vote secret. Dans ce mouvement la partie épaisse du levier repousse un peu l'armature, et celle-ci, qui est montée sur ressort, reprend sa position le long du tube dès que la pointe fixée dans le levier a dépassé sa partie supérieure.

Tables. — La surface de chacune de ces tables dépend naturellement du nombre des votants. Ainsi, pour le conseil municipal de Paris, et en adoptant les dimensions de l'appareil qui m'a servi à faire mes expériences, cette surface serait de 64 décimètres carrés; de 2 mètres carrés pour le Sénat, et de près de 4 mètres carrés pour

la Chambre des députés. Mais on peut la réduire considérablement en donnant à l'appareil électrique des dimensions moindres.

Ces tables n'ont pas de dessus, il est remplacé par des traverses à rainures perpendiculaires dans lesquelles s'engagent les plaques métalliques des appareils. Ces plaques reposent elles-mêmes sur des tiges ou des lames, également métalliques, en communication avec la terre de façon à éviter l'emploi des fils de retour. Un fond, placé à quelques centimètres du bas des appareils, et formant un plan doublement incliné, dans le sens de la longueur et dans celui de la largeur, reçoit les boules à leur sortie des tubes et les dirige, par le fait même de sa double pente, dans le tube diagonal dont il est question plus haut.

Si les tables devaient avoir de grandes dimensions, il y aurait lieu d'établir plusieurs plans inclinés recevant chacun un nombre égal de boules, et il faudrait naturellement autant de tubes diagonaux que de plans inclinés, soit, par exemple, deux par table pour le Sénat et quatre pour les députés.

Sur les traverses et en regard de chaque appareil se trouve inscrit le nom du votant, ainsi que sur un petit pavillon fixé à la partie mince du levier, *fig.* 1.

Piles. — Ainsi qu'il a été dit en commençant, il faut autant de piles d'un ou deux petits éléments Leclanché qu'il y a de votants. Leur emplacement est absolument indifférent et dépendrait uniquement de la disposition des lieux, de façon que, tout en ne choquant pas la vue, leur entretien et leur vérification fussent faciles.

Boutons interrupteurs. — Chaque votant a à sa portée, dans son pupitre par exemple, deux boutons en tout semblables à ceux en usage dans les appartements

munis de sonnettes électriques, l'un correspondant avec la table des *Pour*, l'autre avec celle des *Contre*. Il n'a qu'à presser sur celui des deux qui doit donner le vote qu'il veut exprimer : le circuit se ferme, le courant passe dans l'électro-aimant, l'armature est attirée, et le levier, n'étant plus soutenu par cette armature, bascule et prend la position verticale ; la boule qu'il supportait traverse le tube, tombe sur le plan incliné et va s'engager dans le tube diagonal fendu et gradué, de sorte qu'on arrive à ce double résultat qu'il y a sur chaque table autant de leviers perpendiculaires la dépassant de 5 centimètres environ et de boules engagées dans le tube diagonal qu'il y a eu de votes exprimés, soit pour, soit contre.

Tube diagonal. — Le tube diagonal étant fendu dans sa longueur et gradué, comme je l'ai déjà dit, et chacune des divisions étant égale au diamètre des boules, on comprend qu'il est inutile de compter ces dernières et qu'il suffit, pour en connaître exactement le nombre, et par suite celui des suffrages exprimés dans un sens ou dans l'autre, de regarder à quelle division correspond la dernière boule engagée, c'est-à-dire la plus haute, l'unité se trouvant en bas.

Dans le cas de plusieurs plans inclinés et, par suite, de plusieurs tubes diagonaux, le total des boules engagées dans les différents tubes doit naturellement être égal à celui de tous les leviers perpendiculaires. Chaque tube diagonal est muni, à son extrémité inférieure, d'un obturateur à ressort qu'il suffit d'ouvrir, une fois le résultat connu, pour recueillir les boules dans une corbeille et les replacer ensuite, pour un autre vote, après avoir ramené à la position horizontale les leviers perpendiculaires.

Dans la plupart des cas, la simple inspection des le-

viers perpendiculaires fera connaître immédiatement à l'assemblée délibérante et au public si ce sont les *Pour* ou les *Contre* qui ont la majorité.

Cadran indicateur. — En plaçant à peu de distance de l'orifice supérieur du tube diagonal un ressort interrupteur, chaque boule, en passant, fermera le circuit d'une pile locale, et si dans ce circuit se trouve placé un cadran indicateur, d'une dimension suffisante, on aura, presque instantanément, et d'une façon visible pour tout le monde, le résultat *exact* de chacune des deux tables.

Dans le cas de plusieurs plans inclinés et tubes diagonaux par table, il faudrait naturellement autant de cadrans indicateurs que de tubes diagonaux, et une simple addition des différents nombres exprimés par les aiguilles donnerait le nombre total. On pourrait également rendre les cadrans solidaires les uns des autres, comme dans les compteurs à gaz, de façon à n'avoir à consulter que le dernier qu'on pourrait laisser seul visible.

Ce cadran indicateur, outre le très grand avantage qu'il aurait de faire connaître *immédiatement* à tout le monde le résultat exact du vote, serait en même temps un élément de contrôle de plus, puisque le nombre qu'il indiquerait devrait être exactement le même que celui des leviers perpendiculaires et des boules engagées dans les tubes diagonaux.

Vote secret. — Si le vote devait être secret, on recouvrirait les tables de couvercles à fonds assez élevés pour permettre aux leviers de prendre la position perpendiculaire. — Une fois les votes exprimés, contrôlés et enregistrés, les boules extraites des tubes diagonaux, les aiguilles des cadres ramenées à zéro, etc., on ferait déclencher, au moyen d'un fil volant mis en contact successivement avec *tous* les boutons extérieurs des électro-

aimants, ceux des leviers qui seraient restés dans la position horizontale pour leur faire prendre, comme aux autres, la position verticale, on recueillerait les boules, et ce n'est qu'*ensuite* que les couvercles seraient enlevés. De cette façon, ceux mêmes qui seraient chargés de cette opération ne pourraient savoir qui a voté *Pour* ou *Contre*.

Il va sans dire que pour la nomination d'un président, d'une commission, etc., ce moyen ne serait pas applicable et qu'il faudrait procéder comme actuellement.

Enfin si l'on tenait à ce que les leviers fussent ramenés à leur position horizontale avant l'enlèvement des couvercles, il faudrait que l'un des grands côtés fût doublé d'une traverse mobile qu'on ferait glisser dans des rainures pratiquées dans les petits côtés au moyen de deux tiges rigides et articulées. En la ramenant vers le grand côté opposé, cette traverse mobile forcerait évidemment tous les leviers à reprendre l'horizontalité.

La dépense de première installation ne saurait dépasser 30 francs par votant, et pourrait être notablement moins élevée, si les appareils étaient réduits à des dimensions moindres que celles que j'ai indiquées en commençant et que j'avais adoptées pour mes essais qui ont parfaitement réussi.

Quant à l'entretien annuel des appareils et des piles, il est insignifiant.

Luçon.

SYSTÈME DUPLEX A ÉQUILIBRE MAGNÉTIQUE

DE MM. SIEUR ET TERRAL.

Quand on observe, dans la pratique, la transmission duplex, on est frappé de la faiblesse du courant qui se manifeste à l'arrivée en comparaison de l'énergie du courant obtenue dans la transmission simple.

Quelle que soit la méthode employée pour la transmission duplex, pont ou système différentiel, il ne faut pas perdre de vue que la moitié du courant au moins est employée pour annuler l'autre moitié dans l'appareil du départ. De plus, à l'arrivée, une grande partie du courant est dérivée par la branche du pont du côté de la ligne; ou bien, dans le système différentiel, le courant n'agit que dans la moitié des spires de l'électro-aimant récepteur. De là la faiblesse signalée plus haut et qui offre, pour l'équilibre au départ, beaucoup de difficulté en raison de la précision qu'il est indispensable d'obtenir.

Dans le but de remédier à cet inconvénient, j'ai imaginé, en collaboration avec M. Terral, un système de duplex à équilibre magnétique qui consiste en un manipulateur relais représenté *fig.* 1 et 2.

La culasse C de l'électro-aimant E est solidaire du levier P du manipulateur.

A la position de repos, la culasse repose sur les noyaux de l'électro-aimant, et l'aimant A n'exerce sur eux aucune influence. Le courant venant de la ligne agit comme sur

un électro-aimant ordinaire; l'armature B est attirée et ferme le circuit d'une pile locale à travers un récepteur.

Fig 1.

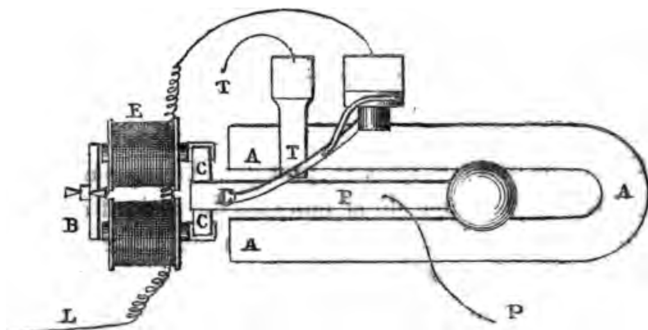
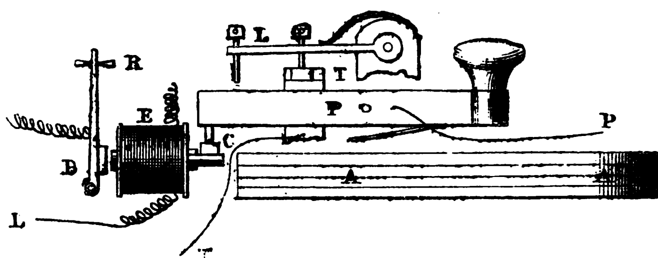


Fig. 2.



Lorsqu'on transmet, la culasse C est éloignée des noyaux de l'électro-aimant par le mouvement du levier P qui soulève le levier L. Le courant venant de la pile est envoyé sur la ligne en passant par le levier P, le levier L et les bobines de l'électro-aimant E dont les noyaux sont, par ce fait, aimantés dans un certain sens. Mais, par suite de l'éloignement de la culasse, l'aimant A agit par influence sur les noyaux de l'électro-aimant et est disposé de manière à les aimanter en sens inverse de l'aimantation que produit sur eux le courant envoyé sur la

ligne. Le système étant réglé, l'électro-aimant E se trouve sous l'influence de deux aimantations d'énergies égales et de sens contraire; il ne pourra fonctionner que sous l'influence d'un courant venant de la ligne, comme cela a lieu dans les autres duplex.

Le réglage de l'équilibre s'obtient par tâtonnement en éloignant ou en rapprochant progressivement l'aimant A de l'électro-aimant E.

On comprendra facilement que, dans ce système, le courant, n'ayant à subir aucune dérivation, agira à l'arrivée dans toutes les spires de l'électro-aimant avec la même intensité que dans la transmission simple.

Remarquons en outre que, par suite des mouvements de la culasse, les effets d'aimantation et de désaimantation produits par l'influence de l'aimant A produiront dans les bobines de l'électro-aimant E des courants d'induction correspondant en sens contraire aux effets de charge et de décharge de la ligne qui se trouveront ainsi annulés dans une certaine mesure.

SIEUR.

PILE ÉLECTRIQUE DE M. JOURDAN.

La pile Jourdan réunit, à un degré assez élevé, les qualités d'être simple, peu coûteuse, d'un entretien facile et de donner, avec une énergie suffisante, une grande constance.

Dans les piles à deux liquides, l'hydrogène se recombine au fur et à mesure de sa formation, au lieu de venir se porter sur l'électrode positive : dans la pile Jourdan, cette électrode est poreuse et donne passage à ce gaz à mesure qu'il vient s'y déposer. La pile, dans les usages ordinaires, ne restant pas en circuit fermé d'une manière permanente, les intervalles qui séparent deux émissions l'une de l'autre suffisent à la dépolariser complètement.

Elle se compose simplement d'un vase en plombagine rempli d'eau pure dans laquelle on a fait dissoudre un peu de sel de verre (communément fiel de verre). Une plaque de zinc plonge dans cette dissolution (voir *fig.* 1 et 2).

Une lame de cuivre, fixée à la surface extérieure du vase en plombagine, sert d'électrode positive ; quant à l'électrode négative, elle est soudée à la plaque de zinc. Une petite traverse de bois soutient le zinc, mais elle n'est utile que dans le dernier vase; quand plusieurs éléments sont accouplés, le zinc est supporté par la lame elle-même. Le mode d'accouplement est d'ailleurs le même que dans les piles ordinaires.

M. Jourdan a reconnu que l'on peut remplacer le sel

de verre par du chlorure de sodium (sel de cuisine) qui produit les mêmes effets que le premier sel, ce qui rend facile l'usage de la pile, quel que soit le lieu où l'on se trouve, le sel de cuisine ne faisant jamais défaut.

Fig. 1.

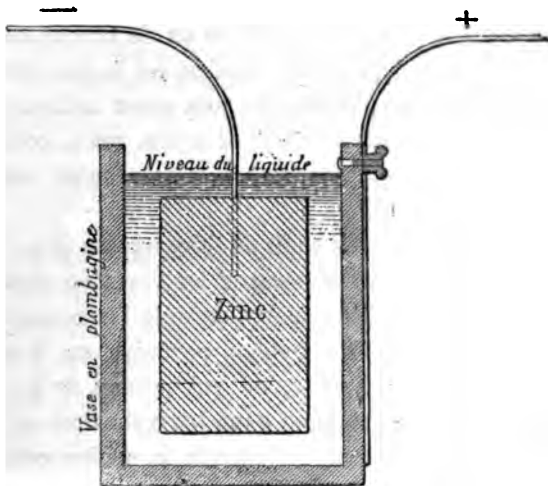
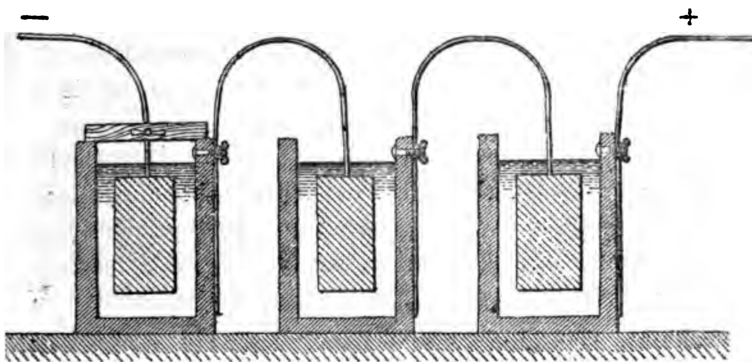


Fig. 2.



La composition du liquide excitateur indique suffisam-

ment que cette pile est complètement exempte d'émanations nuisibles.

Pour extraire la pile il suffit de remplacer l'eau qui diminue par l'effet de l'évaporation, chaque fois que cette diminution est assez sensible, sans qu'il soit utile d'ajouter du sel, et, si l'on considère que l'usure du zinc est inappréciable après un an de travail, on reconnaîtra que la dépense d'entretien est à peu près nulle.

Les vases de plombagine sont assez facilement traversés par les sels de la dissolution, mais, comme ces sels sèchent promptement, il n'en résulte aucun inconvénient.

Le nettoyage, qu'il suffit de faire une ou deux fois par an, consiste à laisser tremper les vases de plombagine pendant environ deux heures dans de l'eau acidulée.

La pile peut être rendue portative en fermant la surface libre du liquide, ce qui permet de l'employer comme pile de campagne dans les opérations militaires.

Il résulte de mesures faites à la station centrale de Paris, où dix éléments Jourdan sont depuis plus d'un an intercalés au milieu d'une pile qui dessert des bureaux importants, que la force électromotrice de ces éléments est très sensiblement égale à celle des éléments Callaud. Quant à la résistance, elle s'est un peu accrue depuis le moment où ils ont été mis en service, mais l'augmentation s'est promptement arrêtée : elle ne dépasse pas celle des éléments Daniell ou Callaud, de même dimension.

Des expériences analogues faites en 1880 pendant plus de quatre mois à Marseille, sur la ligne de Marseille à Aix, ont donné des résultats à peu près semblables ; on paraît même avoir trouvé un avantage plus marqué en faveur des éléments Jourdan.

NOTE

SUR DES ESSAIS TÉLÉPHONIQUES

A GRANDE DISTANCE.

(Extrait d'un rapport de M. Caël,
Inspecteur-ingénieur des lignes télégraphiques.)

Des essais comparatifs de transmission téléphonique à longue distance, sur un seul fil, ont été faits, à Paris, des microphones Edison et Ader, les deux types qui me semblent avoir donné jusqu'ici les meilleurs résultats pratiques (*).

(*) Les microphones Edison et Ader sont tous deux à bobine d'induction.

Le microphone Edison est ainsi constitué :

Une petite cuvette cylindrique très peu profonde, et de 0m.18 de diamètre est remplie de suie de pétrole et recouverte d'un petit disque en tôle très mince; ses bords sont en ébonite, de sorte qu'un courant électrique ne peut passer du fond de la cuvette à son couvercle que par la suie de pétrole.

Le disque porte à l'extérieur et à son centre un petit bouton en os qui touche le centre d'une autre plaque parrallèle de 0m,07 de diamètre et de 1/3 de millimètre d'épaisseur, devant laquelle parle l'opérateur; celles ci est solidement fixée sur un bâti en fonte qui contient en même temps la cuvette.

Le bâti est en communication avec un des pôles de la pile locale; l'autre pôle, par un fil isolé, est relié à la petite plaque qui recouvre la cuvette.

Les vibrations de la grande plaque produisent, entre la suie de pétrole et le disque, des différences de pression d'où résultent des variations du courant local inducteur, et, partant, le courant téléphonique induit qui circule sur la ligne.

Dans le microphone Ader, le dispositif à conductibilité variable est formé de crayons de charbons de cornues supportés sur deux rangées

La première série d'expérience a été réalisée entre Versailles, Rambouillet et Chartres.

La deuxième, de Rambouillet à Orléans par Chartres.

La troisième, de Rambouillet au Mans.

Enfin la quatrième de Rambouillet à Laval.

Je me suis tenu éloigné de Paris de quelques kilomètres pour éviter l'induction du réseau souterrain et les courants telluriques qui y sont une cause constante de perturbation des transmissions téléphoniques, lorsqu'on n'emploie qu'un seul fil.

L'échange de la parole entre Rambouillet et Versailles (30 kilomètres), Rambouillet et Chartres (40 kilom.), enfin Versailles et Chartres (70 kilom.), s'est effectué avec une lucidité irréprochable par l'appareil Ader. Les sons reçus étaient nets, alors même qu'ils étaient produits à voix très basse, malgré d'assez intenses crépitations; le timbre se reconnaissait sans le moindre embarras, et la conversation n'occasionnait aucune fatigue.

Dans la seconde journée, les essais ont été poursuivis entre Rambouillet et Orléans sur un circuit constitué avec les deux fils Chartres-Rambouillet et Chartres-Orléans. Distance, 116 kilom.

Comme on devait s'y attendre, la voix a été moins accentuée et l'induction plus sensible, mais la conversa-

parallèles, et avec un certain jeu, par trois baguettes rectangulaires faites du même charbon.

Ces trois baguettes sont clouées sur une planchette très mince de sapin bien sec, qui sert de plaque vibrante. Les deux extrêmes sont reliées aux deux pôles de la pile inductrice, dont le courant est ainsi obligé, pour circuler, de traverser tous les crayons.

Lorsque la plaque vibre, elle entraine les crayons; mais, en raison de leur légèreté, les crayons ne les suivent pas dans leurs mouvements: de là des différences de pression qui font varier la résistance du circuit inducteur, et produisent le courant induit.

Le microphone Ader fonctionne donc sous une action constante et uniforme (la pesanteur) et ne nécessite aucun réglage.

tion n'a rien eu d'obscur et peut être considérée comme très pratique avec les deux types d'appareils (Ader et Edison).

Le microphone Edison est moins sensible aux influences des fils voisins et a fourni peut-être des sons plus corrects; mais l'appareil Ader l'emporte par la puissance des vibrations, et quoiqu'il soit vivement impressionné par les courants induits ou terrestres, la voix les domine au point d'être très facilement perceptible.

Pour étendre et compléter l'expérience, on a ajouté au fil de Rambouillet et Orléans, un circuit bouclé, passant par Gien et Montargis, ce qui portait la longueur totale du conducteur à 216 kilom.; mais, dans ces conditions, si l'on a pu encore communiquer, ce n'a été qu'avec la plus grande peine et beaucoup de fatigue. Le courant téléphonique arrivait très affaibli, et les bruits d'induction ou telluriques étaient prédominants.

J'ai eu ainsi une première indication sur la portée pratique des appareils téléphoniques les plus connus et les meilleurs, lorsqu'ils sont reliés par des fils qui ne sont ni parfaitement isolés ni soustraits aux phénomènes d'influence.

J'ai fait transporter les téléphones d'Orléans au Mans, puis à Laval, en laissant ceux de Rambouillet, de manière à constituer un circuit de plus de 116 kilom., mais inférieur à 300 kilom.

La distance de Rambouillet au Mans est de 165 kilom.; elle a été franchie par la voix sans difficulté. L'induction était, sans doute, un peu plus gênante qu'avec Orléans, mais les sons étaient tout aussi nets et le timbre parfaitement reconnaissable, sans qu'on fît le moindre effort pour s'entendre.

Avec Laval (253 kilom.), les résultats ont été tout au-

tres. L'induction est devenue extrêmement violente, des bruits confus, au milieu desquels on discernait parfois les émissions d'appareils Hughes, couvraient entièrement la voix qui ne parvenait dans d'autres moments que bien affaiblie; j'ai pu cependant me faire comprendre de mon correspondant et échanger avec lui quelques lambeaux de conversation qui ne manquaient pas de netteté.

Si donc, entre deux points aussi éloignés, les transmissions téléphoniques perdent toute valeur pratique, étant données les circonstances dans lesquelles elles ont été effectuées, on est en droit de penser que cette distance, et même de plus longues, pourraient être aisément franchies avec des circuits mieux isolés, à l'abri des perturbations et avec des appareils perfectionnés. Pour le moment, j'estime qu'avec les lignes télégraphiques ordinaires, on peut facilement envoyer la parole à 150 ou 200 kilom.

Les difficultés qui contrarient les communications téléphoniques à grande distance sont multiples et de nature très complexe.

Voici les principales :

Les courants téléphoniques sont toujours d'une ténuité extrême et à très haute tension, surtout lorsqu'on emploie des microphones à bobine d'induction sur les lignes aériennes, ils se perdent à la terre par les supports et s'affaiblissent ainsi en raison de la longueur du circuit.

Lorsque le circuit est constitué avec un seul fil, les courants terrestres tendent à y acquérir une intensité d'autant plus grande que son développement est plus considérable et produisent sans doute ces espèces de remous que j'ai constatés entre Rambouillet et Laval (*),

(*) Il convient toutefois d'en attribuer une partie à la polarisation de la pile qui avait fonctionné pendant un temps assez long sans être rema-

mais il est principalement influencé par le voisinage des autres fils télégraphiques placés soit sur les mêmes appuis soit de l'autre côté de la voie ferrée.

Avec des instruments aussi impressionnables que le téléphone, les actions chimiques ou mécaniques en apparence inoffensives se traduisent par des troubles très perceptibles; je citerai entre autres la décomposition des plaques de terre, la polarisation de la pile et, peut-être aussi, comme l'a observé M. Gaiffe, dans une note adressée à l'Académie des sciences, les vibrations des fils sous l'effort du vent, leur frottement sur les supports et, en général, toute action mécanique produisant un changement moléculaire dans les conducteurs (*).

Quelle part faut-il attribuer à chacun de ces phénomènes complexes dans les effets que le téléphone met en évidence? On ne peut encore le dire. D'ailleurs ce qui importe avant tout, c'est de chercher à se débarrasser de toutes ces causes perturbatrices; action terrestre, dérivation, induction téléphonique et télégraphique.

Le moyen bien connu d'éviter tous ces effets consiste

niée. Cette polarisation joue un rôle important dans le microphone Ader, et il faut avoir soin de l'éviter autant que possible.

(*) J'ai réalisé, sans résultat appréciable, les expériences tentées par M. Gaiffe avec des téléphones, mais elles ont parfaitement réussi avec des microphones. J'ai limé et frappé avec un marteau un des points métalliques du circuit inducteur et à une distance du microphone telle que le bruit ainsi produit ne pouvait en faire vibrer la plaque, et j'ai clairement entendu dans le circuit induit le grincement de la lime et le choc du marteau. Cette action mécanique engendre-t-elle un courant ou ne fait-elle que modifier la résistance du circuit inducteur? Je l'ignore et ne saurais donner une opinion à cet égard. D'après M. Gaiffe, le même effet peut être obtenu avec de simples téléphones et donnerait bien naissance à un courant. En tout cas, l'hypothèse de vibrations moléculaires se transmettant de proche en proche aux charbons du microphone doit être écartée. Pour m'en assurer, j'ai mis ces charbons en communication avec un fil indépendant du circuit téléphonique à l'extrémité duquel j'ai fait limer et frapper comme dans la première expérience; aucun son n'a été entendu dans l'appareil.

à former un circuit sans terre dont les deux fils sont cordelés ou disposés de manière qu'ils soient situés à la même distance des conducteurs voisins. Cette disposition, toujours praticable à petite distance, s'impose surtout à proximité des nœuds principaux du réseau général ou lorsqu'on côtoie des lignes télégraphiques.

Si la communication des lignes téléphoniques est placée sur un branchement spécial, éloigné de tout autre conducteur, mais partant d'un bureau télégraphique, un fil suffit ; mais il faut avoir la précaution de lui donner une terre indépendante, afin d'éviter les dérivations que l'on confond souvent avec l'induction.

Ainsi, si la terre du poste est prise dans un puits et que l'on ait des conduites de gaz à sa disposition, c'est à celles-ci qu'il sera prudent de relier le fil téléphonique. On ne devra pas hésiter à aller lui chercher, au besoin, beaucoup plus loin, un bon contact avec le réservoir commun (*).

Le voisinage d'une ligne composée de plusieurs fils de quelque importance peut être incommode, mais ne semble pas dangereux au point de vue du secret des dépêches. Les signaux produits dans le téléphone pas l'induction s'entre-croisent et deviennent méconnaissables, sauf ceux du Hughes qui ressortent presque toujours avec netteté. Je ne sais encore dans quelles limites s'exerce cette influence au point qu'elle puisse être redoutée.

Avec des lignes souterraines, on n'évite pas l'induction télégraphique ni même téléphonique, si l'on n'em-

(*) L'action des courants terrestres se fait même sentir par un très léger grésillement sur le téléphone Ader, avec un circuit parfaitement isolé, sauf en un de ses points relié à la terre. Elle devient très nette lorsqu'on produit deux pertes à 1 mètre l'une de l'autre.

ploie qu'un fil; mais on aurait un isolement presque parfait et partant des sons bien plus intenses, à moins que la condensation ne leur oppose un sérieux obstacle; l'essai en est encore à faire (*).

Je crois que pour faciliter la correspondance téléphonique lointaine, il faut moins se préoccuper de rendre le téléphone récepteur plus sensible, — celui de M. Ader est déjà, peut-être, trop impressionnable à grande distance, — que d'augmenter l'intensité des courants téléphoniques en améliorant l'isolement des conducteurs et en faisant usage des bobines d'induction à longs circuits inducteurs et induits, de manière à permettre l'emploi d'un plus grand nombre d'éléments de piles accouplés soit en tension, soit en quantité, suivant les circonstances.

Quant aux types d'appareils que j'ai expérimentés, ils sont tous deux excellents. Toutefois je donnerais la préférence au microphone Ader. Si le système Edison fournit des sons plus nets en raison de la rigidité et des dimensions restreintes de sa plaque vibrante et, s'il est un peu moins sensible aux bruits étrangers, il exige un réglage absolument inutile avec l'Ader, il est d'un emploi pratique moins commode; enfin, à courte distance surtout, et quand on peut s'affranchir des influences extérieures, l'appareil Ader a sur lui, au point de vue de la sonorité, une supériorité qui me semble indéniable.

(*) Ces expériences sont commencées et ont donné des résultats intéressants que je ne tarderai pas à faire connaître.

Paris, le 24 mai 1881.

CHRONIQUE.

Exposition internationale d'électricité et Congrès d'électricité de 1881.

Le ministère des postes et des télégraphes vient de publier la liste des membres français désignés pour faire partie du Congès international des électriciens. Cette liste est composée comme suit :

Président : M. LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.

Vice-Présidents :

MM.

Le Ministre de l'instruction publique et des beaux-arts.
Le Ministre des travaux publics.
Le Ministre de la guerre.

Membres :

MM.

Le Ministre de la marine et des colonies.
Le Ministre de l'agriculture et du commerce.
Le général Frébault, sénateur.
Paul Bert, député, professeur à la Faculté des sciences de Paris.
Lesguillier, député, directeur des chemins de fer de l'État.
Becquerel (Ed.), membre de l'Institut, président de l'Académie des sciences.
Berthelot, membre de l'Institut.
Bréguet (L.), membre de l'Institut.
Cornu, membre de l'Institut.
Daubrée, membre de l'Institut, inspecteur général des mines, directeur de l'École nationale des mines.

MM.

Desains, membre de l'Institut.
J.-B. Dumas, de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.
Fizeau, membre de l'Institut.
Jamin, membre de l'Institut.
Lalanne, membre de l'Institut, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de l'École nationale des ponts et chaussées.
Hervé Mangon, membre de l'Institut, directeur du Conservatoire national des arts et métiers.
Marey, membre de l'Institut, professeur au Collège de France,
Du Moncel (le comte), membre de l'Institut.
Perrier, lieutenant-colonel, membre de l'Institut.
Wurtz, membre de l'Institut.
Abria, doyen de la Faculté des sciences de Bordeaux.
Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur général du service central des phares.
Baron, directeur au Ministère des postes et des télégraphes.
Bergon, directeur au Ministère des postes et des télégraphes.
Bertin-Mourot, sous-directeur de l'École normale.
Blavier, directeur-ingénieur des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie.
Boussac, inspecteur en chef du contrôle, au Ministère des postes et des télégraphes.
Bouty, professeur au lycée Saint-Louis.
Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, inspecteur de l'École nationale des ponts et chaussées.
Crova, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier.
Deprez (Marcel), électricien.
Durand-Claye (Léon), ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Fontaine, ingénieur, président de la Chambre syndicale des électriciens.
Garbe, chargé du cours de physique générale et de météorologie à l'École préparatoire à l'enseignement supérieur des sciences, à Alger.
Guillebot de Nerville, inspecteur général des mines.
Jablochkoff, ingénieur électricien.

MM.

Jacqmin, directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est.

Joubert, secrétaire général de la Société française de physique.

Jousselin, inspecteur principal de l'exploitation des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Lartigue, directeur de la Société générale des téléphones.

Leclère, capitaine d'artillerie.

Le Roux, professeur de physique à l'École supérieure de pharmacie.

Lévy (Maurice), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur suppléant au Collège de France.

Lippmann, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.

Mangin, colonel du génie.

Mascart, professeur au Collège de France, directeur du bureau central météorologique.

Mathias, ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord.

Mathieu, capitaine de vaisseau.

Mercadier, ingénieur des télégraphes, inspecteur des études de l'École supérieure de télégraphie.

Mouton, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.

Neyreneuf, maître de conférences à la Faculté des sciences de Caen.

Planté (Gaston), électricien.

Potier, professeur à l'École des mines et à l'École polytechnique.

Raynaud, ingénieur des télégraphes.

Reboul, doyen de la Faculté des sciences de Marseille.

Regnault, inspecteur principal honoraire du mouvement à la compagnie du chemin de l'Ouest.

Richard, directeur-ingénieur des télégraphes.

Le général baron de Saint-Cyr-Nugues, président de la commission de télégraphie militaire.

Sebert, lieutenant-colonel d'artillerie de marine.

Sévène, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la compagnie des chemins de fer d'Orléans.

Terquem, professeur à la Faculté des sciences de Lille.
Violle, professeur à la Faculté des sciences de Lyon.
Wolf, astronome titulaire de l'Observatoire de Paris.

Le comité chargé de l'organisation des conférences pendant la durée de l'exposition se compose de MM. Allard, Armengaud, Edmond Becquerel, docteur Bert, Blavier, Antoine Bréguet, Clérac, Fontaine et Hervé Mangon.

Orage électrique du 31 janvier 1881.

Par M. W. Preece.

Les orages électriques qui ont été rares et peu sensibles depuis 1872, ont commencé à reparaître. Par orages électriques, j'entends ces courants terrestres *anormaux* qui accidentellement produisent de graves perturbations sur les circuits électriques. Je ne puis en aucune façon les rattacher aux courants terrestres normaux étudiés par M. Adams, et qui existent toujours plus ou moins. Le premier orage eut lieu les 11 et 12 août de l'année dernière, mais un second d'une bien plus grande importance parut le 31 janvier suivant. Tous deux provenaient de l'action du soleil, et l'on reçut de tous les points du globe des preuves de leur existence.

L'orage du 31 janvier fut d'abord observé à trois heures après midi; il atteignit son maximum à six heures quarante du soir et disparut à environ neuf heures du soir. Il se renouvela vers onze heures du soir et disparut de nouveau vers une heure du matin suivant. Les courants acquirent une intensité que je n'avais jamais observée dans mes précédentes expériences. A Llanfaïr, dans Anglesey, sur les fils de London-Irish, ils mesurèrent 41,4 milliwebers, tandis qu'à Haverfordwest, sur un autre fil, ils dépassèrent 30 milliwebers. Les observations faites à la dernière station furent si soigneusement notées que j'ai pu les reporter sur un plan donnant un excellent graphique de la durée, de la direction et de la force de l'orage. Ces indications furent prises au moyen d'un galvanomètre

de tangente sur un fil s'étendant de Haverfordwest à Valentia et mis à la terre à ces deux stations. La longueur de ce circuit est de 300 milles et sa résistance de 4.000 ohms. La distance géographique entre les deux terres est de 220 milles. La courbe montre que le courant resta constamment négatif jusqu'à six heures du soir, alors il commença à varier considérablement en force et acquit à six heures trente-quatre une intensité remarquable; puis tout à coup il sauta dans la direction opposée et arriva à la même intensité, c'est-à-dire 30 milliwebers. Après avoir varié pendant deux minutes, sa force diminua rapidement, et il disparut vers neuf heures du soir.

Le courant maximum montre qu'à ce moment il y avait entre les deux terres une différence de potentiels de 120 volts ou une variation de potentiel de 1 volt par 1,8 mille. Les observations dans Anglesey ont démontré que la variation de potentiel entre Anglesey et Londres était exactement la même.

Les courants qui servent aux transmissions n'ayant qu'une intensité d'environ 10 milliwebers, il est évident que les courants anormaux d'une telle force doivent avoir eu une grande influence perturbatrice sur les lignes télégraphiques. En fait, à la période maximum de trouble, tout le travail était interrompu sur tous les circuits, excepté sur ceux qui étaient complétés par des fils de retour.

Quelques observations faites à Cardiff et Swansea nous mettent à même de nous former une idée approximative de la distribution des surfaces équipotentielles et d'en déduire la ligne de force électro-motrice maximum. Je les ai relevées sur une petite carte. De plus, le calcul nous fournit le moyen de représenter sur le même plan la distribution du potentiel déterminé par la position du soleil par rapport à la terre. Ces lignes coïncident d'une façon remarquable. J'avais trouvé précisément les mêmes concordances le 4 février et le 7 août 1872, derniers orages de quelque importance. Leur exactitude est en outre confirmée par une observation faite à Lerwick dans le Shetland, et aussi consignée sur une carte. Il est juste de remarquer que dans le même jour une perturbation d'une importance inaccoutumée et sans précédent fut remarquée

dans la photosphère du soleil. Il est maintenant bien établi que les taches du soleil, les aurores boréales, les perturbations magnétiques et les courants terrestres, non seulement se manifestent simultanément, mais encore que leurs variations sont les mêmes, quoique l'on ne soit pas encore tout à fait d'accord sur la périodicité de ces variations. Secchi, de Rome, a prouvé, en 1872, que les violentes éruptions solaires coïncidaient avec les grandes perturbations magnétiques et les courants terrestres anormaux.

En conséquence, il ne nous paraît pas douteux que les courants terrestres anormaux ou orages électriques sont dus, ainsi que je l'ai précédemment indiqué, à quelque perturbation dans le soleil.

Note sur un état particulier du cuivre.

Note présentée par M. Preece, à l'Association britannique.

Dans des expériences préliminaires entreprises par le docteur de la Rue et par moi sur des conducteurs en cuivre, je remarquai qu'invariablement l'effet de la première décharge était considérablement plus faible que celui des décharges subséquentes, ce qui conduisait à cette conclusion que la résistance des conducteurs était modifiée par les courants puissants qu'on faisait passer à travers. La différence était si sensible qu'elle ne pouvait s'expliquer par une variation de la force électro-motrice de la batterie ni par la capacité du condensateur. D'ailleurs, tous les contacts étaient établis avec tant de soin que rien ne pouvait expliquer ce changement, si ce n'est une variation de résistance des conducteurs.

Première expérience. Un morceau de fil couvert de gutta-percha ordinaire de 9 mètres de long servit d'abord de conducteur au galvanomètre. Un galvanomètre à réflexion de Thomson, très sensible et dont la résistance était de 5270 ω, fut introduit dans le circuit formé par une pile à un seul élément et une résistance de 100 ω. Des décharges furent envoyées dans le fil, et celui-ci, mis en communication avec le galvanomètre après chaque décharge. Les lectures faites avant

et après les décharges ne présentèrent aucune différence. Une altération dans la résistance, quelque faible qu'elle fût, aurait été sensible avec ce galvanomètre. Le fil avait servi à d'autres usages et avait été traversé auparavant par des courants faibles. De là l'idée que l'effet pouvait n'être évident qu'avec du cuivre vierge, c'est-à-dire du cuivre qui n'a été traversé auparavant par aucun courant.

Pour nous en assurer, nous prîmes directement chez les fabricants trois morceaux de fil de cuivre vierge, dont les diamètres étaient de 7, 12 et 18 millimètres, qui servirent comme précédemment de conducteur pour le galvanomètre, avant et après les courants puissants résultant de la décharge de 12,8 mf., chargées par 3,280 éléments.

Deuxième expérience. Fil de 18 millimètres.

Avant la décharge.	210°
Après la première décharge.	210°
Après la seconde décharge.	173°
Après la troisième décharge.	153°
Après la quatrième décharge.	150°

Le changement fut très sensible.

Troisième expérience. Fil de 12 millimètres.

Avant la décharge.	440°
Après la première décharge.	440°
Après la seconde décharge.	440°
Après la troisième décharge.	440°
Après la quatrième décharge.	440°

Aucun changement ne fut observé.

Quatrième expérience. Fil de 7 millimètres (résistance de 200 ω dans le circuit.)

Avant la décharge.	630°
Après la première décharge.	630°
Après la seconde décharge.	615°
Après la troisième décharge.	615°
Après la quatrième décharge.	610°

changements très légers.

Cinquième expérience. Les mêmes expériences ont été reprises avec des conducteurs en plomb sans que l'on remarquât le moindre changement. L'effet était très variable, tandis que l'on observait un changement considérable de résistance.

Cependant c'est un fait évident que parfois le fil de cuivre n'acquiert sa résistance normale que lorsqu'il a été traversé par des courants. Ces expériences n'ont pu fournir de conclusion définie ni de résulats traduisibles en mesures. Cependant le phénomène est si particulier et si net que le docteur de la Rue et moi nous nous proposons de poursuivre le cours de ces études.

Affinité chimique et force électromotrice.

Cet article est le résumé d'après l'*Engineering* d'un mémoire présenté récemment à la *Physical Society* par le docteur Alder Wright, conférencier de chimie et de physique à l'hôpital Sainte-Marie. Le docteur Wright passe en revue les recherches faites dans le but de déterminer la valeur de l'affinité chimique sous le nom de force électro-motrice, et il commence par comparer les valeurs trouvées par différents expérimentateurs tels que Weber, Kohlraush et Rowland pour l'unité de résistance admise par l'Association britannique, ou le ohm des électriciens. Il arrive à cette conclusion que la véritable valeur du ohm se trouve comprise entre 1 et 1,005 quadrants terrestres par seconde, et que, par suite, jusqu'à ce qu'on ait fait de nouvelles déterminations, on peut regarder comme exacte l'unité admise par l'Association britannique. Il en résulte également que la force électro-motrice de l'élément type Clark nouvellement en action vaut 1,457 volts, sans qu'il y ait de correction à faire à l'unité de l'Association britannique. Cette qualification nouvellement en action est nécessaire, car il résulte des expériences faites sur ces éléments par le docteur Wright que leur force électro-motrice s'affaiblit avec le temps. Préparés avec soin, ils conservent une force constante pendant trois ou quatre mois; mais, au bout de ce temps, elle subit une lente diminution de 1 ou 2 p. 100 en deux ans. Cet affaiblissement est accru ou occasionné par l'air qui est à l'intérieur de la pile, et la précaution qui consiste à boucher les ouvertures avec de la cire de paraffine est à peine suffisante pour éviter les rentrées d'air, car la cire se fendille sur les

bords. Il vaudrait mieux fermer hermétiquement l'orifice de l'élément.

Comparant de même les diverses valeurs données pour J, l'équivalent mécanique de la chaleur de Joule, données par Joule lui-même, par Weber, Hirn, Violle, Wright et Rennie, le docteur Wright trouve que si l'on adopte pour valeur de l'unité de l'Association britannique la quadrant terrestre par seconde, J vaut 42×10^6 centimètre, gramme, seconde, unités, avec une erreur probable en plus ou en moins inférieur à un centième. Les expériences de Joule sur le frottement de l'eau en 1850 et 1878 lui ont donné les valeurs $41,57 \times 10^6$ et $41,54 \times 10^6$ qui sont probablement au-dessous de la vérité.

Le docteur Wright prouve ensuite que si dans un élément électrolytique, le travail total comprend le travail accompli en séparant les produits naissants de l'électrolyse, et le travail dû à la résistance du fluide, donné par l'expression $C^2 Rt$, dans laquelle C est la force du courant qui passe, et t la durée pendant laquelle il passe. Par suite représentant le travail total par la formule $W = EQ$ (dans laquelle E désigne la force électro-motrice ou la différence de potentiel entre les deux électrodes, et Q la quantité d'électricité qui passe, en d'autres termes Ct), et retranchant le travail nécessaire pour vaincre la résistance $C^2 Rt$, il reste le travail accompli en séparant le composé en produits *naissants* d'électrolyse, ou $Q(E-CR)$. La quantité $E-CR$ est la contre-force électromotrice représentée par e dans la formule de Ohm.

$$\frac{\Sigma(E) - e}{\Sigma(R)}$$

Pour laquelle $\Sigma(E)$ est la somme des forces électromotrices autres que la contre-force électromotrice, et $\Sigma(R)$ la somme des résistances du circuit. Le travail accompli en décomposant un électrolyte en ses produits *naissants* peut donc facilement se déterminer; il dépasse ordinairement le travail accompli en décomposant l'électrolyte en ses produits ultimes.

Après avoir discuté les résultats obtenus par les expérimentateurs qui l'ont précédé, le docteur Wright énonce ce théorème important fondé sur ses propres mesures, que la première action du courant est de décomposer l'électrolyte

en produits naissants, qui développent de la chaleur en se transformant et prenant la forme ordinaire des corps produits par la décomposition. Cependant l'action attractive des surfaces des électrodes employées est cause qu'une fraction notable des produits ne se développe pas sous l'état naissant, mais sous la forme ordinaire ou une forme très voisine, s'ils sont solides, et sous la forme de substances quasi-liquéfiées, si leur état normal est gazeux, comme l'oxygène et l'hydrogène, la décomposition exigeant ainsi une moindre dépense de travail. De même, si les électrodes sont oxydables, ou si les substances qui sont soumises à l'action chimique des produits naissants se dissolvent dans le fluide électrolysé ou adhérent aux électrodes, ou si d'autres changements physiques ou chimiques analogues se produisent, l'énergie ainsi gagnée est retranchée de celle qu'il serait nécessaire sans cela de dépenser pour produire l'électrolyse. Les *produits naissants* dont il vient d'être parlé sont peut-être les atomes extrêmes qui composent les molécules ordinaires d'une substance et qui venant à se rencontrer de nouveau pour former la molécule dégage de la chaleur. Ce théorème nous donne la valeur de e pour la série.

$$e = E_1 + (1-n_1)H_1 - n_1 h_1 + (1-n_2)H_2 + n_2 h_2 - \Sigma(H) \times J$$

dans laquelle E_1 est la force électromotrice représentant le travail accompli en décomposant l'électrolyte en ses produits ultimes; n_1 et n_2 les fractions des produits aux électrodes positive et négative, qui ne sont pas développés sous la forme naissante; H_1 et H_2 les chaleurs de transformation des produits naissants en produits finaux; h_1 et h_2 les chaleurs de condensation des gaz (lorsque les produits finaux sont gazeux) passant aux formes quasi-liquéfiées de ces substances; Σ (H) la somme algébrique de la chaleur développée par l'action des produits sur les électrodes, etc., comprenant la force électromotrice due à la formation de liquides de diverses densités autour des deux électrodes. Le docteur Wright prouve que cette formule comprend et explique un grand nombre de faits observés dans l'électrolyse.

Ainsi la formule tient compte de la diminution de polarisation des électrodes d'un voltamètre pendant le temps qui suit

la rupture du circuit et la nature des couches exprimant la loi de cette diminution. Elle annonce qu'elle sera plus grande dans de l'eau contenant de l'air en dissolution que dans de l'eau sans air, et plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, avec des électrodes petites qu'avec de plus grandes. Ces résultats sont vérifiés par l'expérience. Elle indique également que la force électromotrice d'une batterie à gaz de Grove composée d'hydrogène et d'oxygène doit se trouver entre 0 et 1,50 volts, et doit être sujette à de grandes variations dans certaines conditions, ce qui est vrai. Le phénomène connu sous le nom de *condensation* des voltomètres est en concordance parfaite avec la formule, qui concorde aussi avec cette observation que, dans certaines conditions, l'eau peut être électrolysée avec un dégagement visible d'oxygène ou d'hydrogène, ou de ces deux gaz, par une batterie ayant une force électromotrice inférieure à 1,50 volts.

Une conséquence pratique plus importante, qu'on peut vérifier avec les piles de Daniell, Grove et autres, c'est que la valeur de e croît avec la force du courant, mais moins rapidement; par suite la force électromotrice d'un couple voltaïque quand l'hydrogène s'échappe ou un métal se dépose, n'est pas constante, mais diminue quand le courant engendré croît. Il en résulte que la méthode d'Ohm pour déterminer la force électromotrice des batteries et leur résistance intérieure à l'aide de deux ou plusieurs courants produits par la même batterie est plus ou moins vicieuse, car elle admet que la force électromotrice de la batterie d'épreuve produisant le courant reste pratiquement constante. Dans le cas de la pile de Daniell, la variation de force électromotrice avec la force du courant produit par la pile atteint parfois jusqu'à 10 p. 100. Il n'est pas facile de voir comment on peut mesurer la résistance intérieure d'une batterie sans employer au moins deux courants de force différente. Le docteur Lodge a essayé de démontrer que c'était théoriquement impossible; mais le docteur Wright prétend qu'on y peut arriver par deux méthodes basées sur la polarisation, et en n'employant qu'une seule force de courant. Il est probable que ces méthodes seront publiées bientôt, et que les électriciens pourront les mettre en pratique.

Dans le cours de ses laborieuses expériences, le docteur Wright a fait plusieurs déterminations de la quantité d'oxygène développée par l'électrolyse dans différentes périodes de temps par des courants très faibles, et il a reconnu que la loi de Faraday se vérifie toujours. (*Les Mondes.*)

Projet d'aérostat électrique.

On se rappelle les belles expériences de direction aérienne qui ont été exécutées en 1852 et 1855 par M. Henry Giffard, dans des aérostats allongés munis d'une hélice actionnée par une machine à vapeur; M. Dupuy de Lôme a entrepris, en 1872, une expérience du même genre dans un aérostat allongé, dans la nacelle duquel plusieurs hommes faisaient mouvoir une hélice de grande dimension. Lors de ces tentatives mémorables, on a obtenu sinon une direction absolue, du moins une déviation de la ligne du vent. M. Gaston Tissandier construit actuellement sur le même principe un modèle d'aérostat dirigeable, qui sera pourvu d'un moteur électrique.

M. G. Tissandier, dans un brevet qu'il vient de prendre à ce sujet, expose les idées qu'il va mettre à exécution. Il fait remarquer que le moteur électrique offre, au point de vue aérostatique, de grands avantages sur la machine à vapeur. Ces avantages sont les suivants :

1° Le moteur électrique a un poids constant, ce qui ne trouble en rien les conditions d'équilibre de l'aérostat dans l'atmosphère. Un moteur à vapeur brûle du charbon, abandonne à l'air de la vapeur d'eau, les produits de la combustion, et perd constamment de son poids. L'aérostat se trouve ainsi sans cesse délesté; pour éviter l'ascension qui résulte de ce délestage, il faudrait constamment perdre du gaz. Rien de semblable ne se produit avec un moteur électrique;

2° Le moteur électrique fonctionne sans feu, ce qui offre une grande sécurité quand il fonctionne sous un aérostat rempli de gaz combustible. Il y a bien une étincelle dans le moteur électrique, mais cette étincelle est localisée et ne saurait être comparée à un foyer d'où s'échappent des étincelles.

L'étincelle électrique peut d'ailleurs être enveloppée d'une toile métallique qui rend impossible l'inflammation du gaz extérieur à son contact;

3° Le moteur électrique présente une grande facilité de mise en marche, d'arrêt, une grande simplicité d'organes; il offre en outre un grand avantage pour la transmission de la force qui peut se faire directement.

L'aérostat dont M. Gaston Tissandier fait construire actuellement un premier modèle en petit aura pour moteur une machine dynamo-électrique ou magnéto-électrique très légère dont les pièces métalliques sont creuses. M. G. Trouvé a bien voulu se charger de cette construction délicate. La source de force motrice aura un accumulateur électrique comme par exemple la pile, système Planté, construite spécialement pour présenter une grande légèreté, elle sera contenue dans des vases d'ébonite ou des récipients de parchemin contenant des feuilles de plomb très minces.

Il paraît évident que, dans ces conditions, on pourra disposer d'une force relativement considérable, pendant un temps assurément assez court, mais cependant d'une durée suffisante pour exécuter une expérience démonstrative au milieu d'un air calme. Si le petit modèle qui se construit actuellement donne les résultats espérés, on le verra fonctionner à l'exposition d'électricité. Quoi qu'il en soit, les expériences que M. Gaston Tissandier va entreprendre offriront assurément beaucoup d'intérêt au point de vue des moteurs légers et de l'aéronautique; elles deviendront peut-être le point de départ de tentatives plus importantes.

(*L'Électricien.*)

Transmissions téléphoniques sans isolation des conducteurs.

L'*Électrician*, dans un de ses derniers numéros, donne quelques renseignements sur des expériences téléphoniques entreprises avec un vibrateur acoustique de Tyler, qui permet, au moyen d'une clef Morse agissant comme transmetteur,

de faire reproduire à l'autre bout de la ligne, où se trouve un téléphone, des séries de vibrations brèves et longues correspondant à des signaux Morse, comme dans le télégraphe harmonique d'Élisha Gray. Il paraîtrait que, dans ces conditions, la transmission des messages pourrait être effectuée sans que la ligne fût isolée, et quand bien même le fil traînerait à terre ou dans l'eau. Bien plus, il pourrait se produire une solution de continuité dans le fil sans que les communications fussent arrêtées, à la condition que les bouts disjoints fussent en contact avec des matières conductrices. Ces effets n'ont rien d'extraordinaire, quand on réfléchit à la grande sensibilité du téléphone, mais on peut évidemment en tirer parti pour le téléphone militaire. Dans les expériences qui ont été faites, on a pu couper le fil conducteur dans son trajet à travers l'eau d'un canal et éloigner ses extrémités disjointes de 8 à 10 pieds l'une de l'autre, sans arrêter la correspondance.

Capacité de la polarisation voltaïque.

M. Blondlot vient de publier une thèse sur la capacité de la polarisation voltaïque, qui donne des renseignements curieux et importants sur cette question. En voici les conclusions :

1° Une méthode directe a été donnée pour mesurer la plus petite charge nécessaire pour produire une polarisation déterminée d'une électrode.

2° A l'aide de cette méthode, on a démontré l'existence d'une première loi : *La capacité initiale est indépendante du sens de la polarisation.*

3° Une seconde loi peut aussi être déduite, et elle peut s'énoncer ainsi : *La capacité élémentaire d'une électrode, pour une force électromotrice donnée, ne dépend pas de la nature de l'électrolyte.* On en déduit les propositions suivantes : 1° Pour faire passer, par une polarisation instantanée, la force électromotrice existant entre une électrode et un électrolyte d'une valeur e_1 à une valeur e_2, il faut une quantité d'électricité, toujours la même, quelle que soit la nature chimique de l'électrolyte (d'où il résulte que l'énergie mise en jeu est éga-

lement invariable); 2° la charge de la couche électrique double existant à la surface de contact d'une électrode et d'un électrolyte, ne dépend pas de la nature de l'électrolyte, pourvu que la différence électrique reste la même (d'où il résulte que l'énergie potentielle de la couche double dépend de sa force électromotrice seulement);

4° On a donné une mesure absolue de la capacité initiale du platine plongé dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et l'on a montré que cette capacité peut varier sous différentes influences. Enfin on a indiqué quelques faits relatifs à la dépolarisation spontanée qui succède à une polarisation instantanée.

Production d'électricité par le contact des métaux et des gaz.

M. Schulzer-Berger vient de publier, dans les *Annales de Wiedemann* (*), des recherches entreprises dans le but de savoir si les gaz, comme les solides et les liquides, donnent lieu à un dégagement d'électricité dans leur contact avec les métaux.

L'appareil qu'il a employé se compose d'un condensateur formé de deux plateaux métalliques en relation l'un avec le sol, l'autre avec un électromètre de Thomson. Pour déterminer la charge que prend ce dernier plateau, dans les différentes expériences, l'auteur lui oppose une force électromotrice, qu'il fait varier jusqu'à ce que l'aiguille de l'électromètre soit ramenée au zéro.

L'un des plateaux, celui qui est relié avec le sol, restant toujours dans les mêmes conditions, l'autre a été soumis à l'influence des différents gaz, de façon à modifier la couche gazeuse adhérente à sa surface. M. Schulzer-Berger a alors constaté, avec les différents gaz employés, des différences de tension variables suivant la nature de ces gaz. Il en conclut que le contact d'un gaz avec un métal produit, entre ces deux corps, une différence de potentiel, comme cela a lieu dans le

(*) *Wiedamann's Annalem*, 1881, page 293.

contact d'un métal avec un solide ou un liquide. Ajoutons que, dans ces expériences, toutes les précautions ont été prises pour éviter les influences extérieures et toutes les causes d'erreur qui ont pu être prévues.

(*La Lumière électrique.*)

Les condensateurs étalons.

Depuis plusieurs années déjà, les constructeurs d'instruments de précision livrent couramment des boîtes de résistance étalonnées, sur l'exactitude desquelles on peut compter. Mais en est-il de même des étalons de capacité électrostatique? Telle est la question que s'est posée un ingénieur des télégraphes suisses, M. Rothen. Pour la résoudre, il a étudié cinq condensateurs fournis par les meilleures maisons de construction. Trois de ces étalons étaient d'origine anglaise, le quatrième avait été fabriqué par un constructeur parisien, et le cinquième provenait d'une maison de Berlin.

A l'exception d'un seul, tous ces condensateurs ont présenté les défauts suivants :

Mauvais isolement des deux lames de l'appareil; variation de capacité quand on fait varier la tension de la pile de charge; charges résiduelles trop considérables et variant avec la durée de la charge et le potentiel chargeant.

En outre, dans ceux de ces instruments qui comprenaient des subdivisions, ces dernières ne correspondaient pas aux indications nominales, et, de plus, l'unité effective n'était pas égale à l'unité nominale.

Le seul appareil qui ait donné des résultats assez satisfaisants était un condensateur anglais. Bien isolé, sans charges résiduelles notables, il présentait des subdivisions s'accordant bien avec sa capacité totale; mais encore cette dernière, qui eût dû être d'un microfarad, était-elle en réalité 1 microfarad 1214; de sorte qu'aucun des appareils essayés n'était ce qu'il eût dû être réellement.

De pareilles inexactitudes viennent évidemment non pas de la difficulté d'étalonner un condensateur, mais de ce qu'on

n'a pas encore bien déterminé et fait connaître quelle est la matière isolante qui doit être employée à l'exclusion des autres pour que le condensateur se trouve dans les meilleures conditions possibles. Ceux des constructeurs qui sont arrivés à établir de bons étalons de capacité se gardent bien de publier la manière dont ils procèdent, et les autres, se servant d'isolants défectueux, arrivent à faire des appareils qui peuvent représenter les capacités indiquées dans les conditions de charge sous lesquelles ils les étudient, mais qui, une fois sortis de leurs mains, et chargés dans d'autres conditions, donnent des résultats tout différents.

Les applications chaque jour plus nombreuses des condensateurs méritent qu'on s'occupe de cette question, que l'on détermine une fois pour toutes quel est le meilleur isolant à employer et les précautions à prendre pour leur construction; peut-être faudrait-il aussi examiner si les types qui ont servi à l'étalonnage des premiers condensateurs sont eux-mêmes bien exacts, et si les copies qui en ont été faites leur sont bien identiques.

(*La Lumière électrique.*)

Explorateur électrique de M. Trouvé.

Cet explorateur est formé par deux tiges métalliques placées à côté l'une de l'autre, mais séparées par une matière isolante, et terminées par deux pointes fines soigneusement acérées. Des fils conducteurs sont attachés à l'extrémité opposée de ces tiges et contribuent à former un circuit qui contient un petit élément (pile à renversement) et un trembleur de petites dimensions placé entre deux lames de verre, de telle sorte que l'on peut sentir, entendre et voir le mouvement du ressort qu'il comprend. Mais l'appareil tel que nous venons de le décrire ne peut fonctionner : le circuit n'est pas complet, il existe une solution de continuité entre les deux pointes. La tige à double pointe étant introduite dans la plaie, si les pointes viennent à rencontrer un corps métallique, une balle, un éclat d'obus, etc., le circuit se ferme et le trembleur

entre en action. Il n'en est pas de même si les pointes appuient sur un os ou toute autre matière analogue, leur conductibilité étant trop faible. On est donc averti immédiatement de l'existence d'un fragment métallique. En faisant tourner les pointes avec une légère inclinaison, le trembleur fonctionne d'une manière continue s'il s'agit du plomb, où les pointes peuvent pénétrer quelque peu ; le bruit est saccadé s'il s'agit de l'acier ou du cuivre. En approchant même à une distance notable un léger système astatique suspendu à un fil sans torsion, on distingue aisément entre ces deux derniers métaux, ce qui permet un diagnostic sûr au point de vue de la nature du corps.

Dans le cas où le corps étranger est dur et ne peut être retiré à l'aide d'un tire-fond, on se sert de pinces; mais leur emploi est rendu plus sûr par une disposition particulière que leur a donnée M. Trouvé; les deux branches sont isolées l'une de l'autre à leur croisement, et les deux anneaux sont reliés aux fils conducteurs aboutissant à la pile et au trembleur. Si la pince est ouverte, le circuit est interrompu ; il est fermé, au contraire, si les mors sont au contact ou s'ils sont serrés contre un corps métallique, et alors, le courant passant, le trembleur fonctionne. On sait donc immédiatement lorsqu'au fond du trajet fistuleux la pince a saisi le corps métallique dont on a reconnu l'existence ou un fragment d'os; on sait également s'il n'y a pas de fragments de tissus de membranes interposés entre la pince et le corps à extraire, car, dans l'un et l'autre cas, la résistance de ces substances organisées au passage de l'électricité est trop grande pour permettre au courant de s'établir.

(*Journal de physique.*)

La fin d'une controverse au sujet des circuits téléphoniques.

Ce n'est pas sans surprise que nous avons appris l'issue du procès intenté devant la Cour suprême des patentes américaines, au sujet de l'emploi d'un fil de retour dans les circuits téléphoniques pour éviter les effets des courants de terre et

d'induction. MM. Brooks et G. Bell croyaient avoir imaginé cette disposition, et la Cour a décidé que la priorité de l'invention appartenait à M. Brooks, parce que son brevet date de juillet 1877, tandis que celui de M. Bell ne date que de la fin d'août de la même année. Il est vrai que la date du brevet de M. Bell, pris en Angleterre, est du mois de mai 1878; mais comme la date du brevet américain est postérieure et que la loi des brevets américains n'admet que la date de la prise de brevet en Amérique, le brevet de M. Brooks s'est trouvé, de par l'Office des patentes, déclaré primer l'autre!!... S'il n'y avait dans ce jugement qu'une question de législation, nous n'aurions même pas parlé de ce procès. Mais ce qui nous renverse, c'est que dans des pays où les brevets sont donnés, en général, avec discernement et après examen de l'invention, on ait pu faire breveter un système qui appartient à tout le monde, qui était appliqué en télégraphie avant la découverte, par Steinheil, du pouvoir conducteur de la terre pour les courants voltaïques, qui a été présenté sous mille formes différentes pour empêcher l'induction des fils les uns sur les autres dans les câbles sous-marins, et qui a occupé, à plusieurs reprises, la Commission de perfectionnement du matériel télégraphique français, de 1860 à 1869.

Décidément, il faut convenir qu'on est, en général, bien peu au courant des découvertes électriques.

(*La Lumière électrique.*)

Application de l'électricité à la locomotion.

Une intéressante application de l'électricité à la locomotion a été faite récemment par M. Trouvé.

Sur un tricicle à deux roues directrices et une grande roue motrice sont placés, au-dessous de l'essieu, deux petits moteurs Trouvé, qui communiquent le mouvement à la grande roue, par l'intermédiaire de deux chaînes Vaucanson.

La force motrice est donnée par une pile secondaire de Planté, composée de six aliments placés derrière le siège, et prenant un point d'appui sur l'essieu.

Près de la poignée du frein, et à la portée de la main du conducteur, se trouve un contact électrique qu'il suffit de toucher pour mettre en marche l'appareil, de l'arrêter invariablement.

La pile secondaire peut faire marcher le tricicle pendant environ une heure.

Expériences de M. Warren de la Rue.

Le 21 janvier dernier, M. Waren de la Rue a fait, à la Société royale de Londres, une conférence sur les remarquables recherches qu'il a publiées depuis quelques années en collaboration avec M. Hugo Muller.

Pour pouvoir répéter ses principales expériences sur les décharges disruptives et les décharges dans les gaz raréfiés, M. W. de la Rue avait fait installer dans les caves de Royal Institution une batterie de 14,400 de ses éléments au chlorure d'argent. La construction de cette batterie avait demandé au fabricant, M. Zisley, une année entière, et il avait fallu plus de 15 jours pour la charger.

La puissance de cette pile fut mise en évidence par différentes expériences. Ainsi un grand condensateur, construit spécialement pour la circonstance, et ayant une capacité égale à celles de 6.485 grandes jarres de Leyde, fut presque instantanément chargé par le courant de 10.000 éléments. Différents fils métalliques de 20 à 60 centimètres de longueur furent immédiatement volatilisés par l'électricité ainsi accumulée. En déchargeant ce condensateur au travers du circuit primaire d'une grande bobine d'induction, le courant induit engendré fut assez intense pour volatiliser des fils de diamètre et de longueur considérables.

C'est avec ces appareils que M. Warren de la Rue reproduit ses belles expériences, dont plusieurs ont déjà été décrites ici, et que l'on trouvera d'ailleurs dans le *Traité d'électricité et de magnétisme* de M. Gordon.

(*La Lumière électrique.*)

Nécrologie.

CHARLES (Charles).

Directeur des ateliers de l'administration télégraphique.

Le service télégraphique vient de perdre l'un de ses fonctionnaires les plus méritants et les plus sympathiques; le directeur des ateliers de l'administration, Charles, s'est éteint après une longue et cruelle maladie.

Entré en 1855 dans l'administration des télégraphes, comme surnuméraire, Charles y apportait, avec les qualités qui lui étaient propres, de précieuses habitudes d'ordre et de discipline contractées dans le service militaire. Après quelques mois de stage, il était titularisé et attaché au bureau de Strasbourg (1856). Dès cette époque, il était déjà signalé comme un employé d'avenir; son intelligence des questions mécaniques avait surtout frappé ses chefs; aussi en 1857 l'appelait-on à Paris, au dépôt central, où on l'adjoignait au contrôleur du matériel. Peu de temps après (1858) on lui confiait la direction des ateliers alors en formation. C'est dans l'exercice de ces dernières fonctions que se révélèrent ses remarquables aptitudes.

La télégraphie électrique en était encore à ses débuts; les rares constructeurs existant alors cherchaient encore leur voie et leurs ateliers ne pouvaient servir de types pour organiser celui de l'administration, ni lui fournir les ouvriers qui lui étaient nécessaires. Ces difficultés devaient être un stimulant de plus pour Charles, qui parvint, non sans peine, à organiser les ateliers qui existent aujourd'hui, d'où sont sortis presque tous les agents spéciaux de l'administration, et où furent exécutés nombre d'appareils intéressants. Et quand en 1863, par suite d'un remaniement dans le personnel, il rentra dans le service des transmissions, son œuvre était en pleine activité.

Charles fut successivement chargé de la gestion des bureaux de Sainte-Marie-aux-Mines et de Lons-le-Saulnier; mais sa place était marquée à Paris, où il fut rappelé en 1867. Il fut attaché à l'inspecteur divisionnaire, et, en 1871, on lui

rendait la direction des ateliers du dépôt central auxquels il sut donner une impulsion nouvelle et dont il étendit encore la sphère d'action.

Charles n'avait pas seulement une grande activité d'esprit, il était doué aussi d'une imagination inventive qui devait trouver à s'exercer dans le milieu où il était placé. On lui doit de nombreux perfectionnements dans le matériel télégraphique; nous nous bornerons à citer les plus importantes de ses créations : manipulateur Morse à plusieurs directions; manipulateur Morse pour la transmission dite à courant continu, et pour la transmission duplex; récepteur Morse à déclenchement automatique; poste Morse de campagne; poste à cadran portatif; disposition de la molette permettant d'assurer la translation à l'aide du récepteur Morse; parleurs divers; poste municipal; poste de forteresse; balance électrique, etc. Ce dernier appareil, remarquablement combiné, a valu à son auteur une médaille d'argent à l'Exposition universelle de 1878.

Charles possédait une qualité précieuse : appelé fréquemment à réaliser les idées des autres, il savait résister à la tendance naturelle qui porte trop souvent les constructeurs inventeurs eux-mêmes à modifier selon leurs vues les projets dont l'exécution leur est confiée. Ce sacrifice de ses propres idées ne saurait, selon nous, être trop apprécié.

L'administration avait voulu utiliser l'expérience de Charles en l'appelant à siéger au sein de la commission de perfectionnement. Il prit pendant huit années une part active aux travaux de ce comité, et ses collègues appréciaient au moins autant en lui la droiture du caractère que la sûreté du jugement et l'étendue des connaissances spéciales.

Il y a moins d'un an, le ministre des postes et des télégraphes voulut couronner une carrière si bien remplie en faisant accorder à Charles la croix de chevalier de la Légion d'honneur. Cette récompense était la plus propre à toucher une nature comme la sienne; les nombreux témoignages de sympathie qui lui furent adressés en cette circonstance ajoutèrent encore à la joie profonde qu'il en éprouva.

Malheureusement notre pauvre ami ne devait pas jouir bien longtemps de cette haute marque de distinction. Atteint d'une affection pulmonaire contre laquelle il luttait avec une rare

énergie, quoique sans illusion sur le résultat final, il succombait, le 27 mai dernier, entre les bras de sa courageuse femme, entouré de ses enfants et d'amis dévoués.

Depuis plusieurs années déjà, Charles sentait la vie lui échapper, et ce n'était qu'au prix des plus grands efforts qu'il parvenait, dans ces derniers temps surtout, à accomplir sa tâche quotidienne; mais, portant à son plus haut point le sentiment du devoir, il se refusa constamment à interrompre ses fonctions; il voulait mourir à son poste. On peut dire qu'il eut cet honneur suprême, car lorsqu'à bout de forces il dut enfin abandonner la direction de son service, sa dernière heure allait sonner!

L'administration perd en lui un serviteur d'élite; nous perdons, nous, un camarade dévoué, un ami sincère.

H. Clérac.

Le Gérant: Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, 26, rue Racine

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1881 **Juillet-Août.**

NOTICE

SUR LES ESSAIS ÉLECTRIQUES

DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

(Suite et fin.)

III.

MÉTHODES DE MESURE.

Cette notice ayant uniquement pour objet de décrire les méthodes les plus usitées dans la pratique des essais électriques, on ne donnera point ici la théorie de ces méthodes, et, pour ces détails ainsi que pour l'exposé d'autres méthodes moins communément employées, on renvoie le lecteur aux ouvrages traitant spécialement de la mesure électrique.

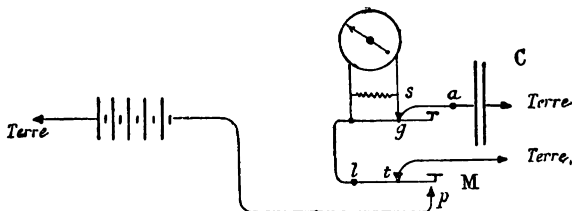
L'ordre dans lequel les diverses opérations sont décrites est celui qu'il convient de suivre dans les expériences.

1° *Comparaison des piles.* — On se propose de déterminer la force électromotrice de la pile que l'on emploiera pour les essais d'isolement, comparativement à la force électromotrice d'un élément étalon, ou d'un élément pris dans la pile étalon.

Le rapport des forces électromotrices de deux piles est égal au rapport des impulsions données à l'aiguille, lorsqu'on envoie à travers le galvanomètre les courants de charge ou de décharge d'un même condensateur chargé successivement avec les deux piles.

Voici comment s'effectue la mesure : les communications étant établies, ainsi que l'indique la *fig.* 6, et

Fig. 6.



le galvanomètre étant pourvu d'un shunt convenable, c'est-à-dire tel que le spot ne sorte pas des limites de l'échelle :

I. *Charge.* — 1° Abaisser et mettre en prise la clef de galvanomètre *g* ;

2° Abaisser sur le contact de pile *p* la clef M ;

3° Lire la division de l'échelle où se termine la première impulsion du spot. Soit *n* cette division, le galvanomètre au repos marquant la division zéro.

Ou bien :

Décharge. — 1° Abaisser et laisser en prise sur son contact *p* la clef M ;

2° Abaisser la clef g, et la mettre en prise ;

3° Déclencher la clef M qui vient sur son contact t;

4° Lire l'impulsion. Soit aussi n cette division.

II. — Répéter la même opération après avoir remplacé à la borne p la pile étalon par la pile à mesurer, et après avoir changé convenablement le shunt.

III. —Calcul de l'expérience. Soient E et E' les forces électromotrices de l'étalon et de la grande pile, n et n' les divisions lues, et enfin $\frac{1}{p}$ et $\frac{1}{p'}$ les shunts employés dans les opérations I et II. On a alors

$$E' = E\,\frac{n'(p'+1)}{n(p+1)}.$$

Exemple. Soient 208 sans dérivation, et 250 avec le shunt $\frac{1}{99}$ les lectures faites dans les opérations I et II.

Le rapport des piles est

$$\frac{250 \times (99+1)}{208 \times (0+1)} = 120{,}19,$$

et si la première fois on a employé 1 élément Leclanché, la grande pile, qui est formée d'éléments de nature quelconque, équivaut à

120,19 Leclanché.

2° *Capacité électrostatique d'une ligne.* — La capacité d'une ligne est à celle d'un condensateur connu dans le rapport des impulsions données à l'aiguille, lorsqu'on envoie à travers le galvanomètre successivement les courants de décharge de la ligne et du condensateur chargés avec la même pile.

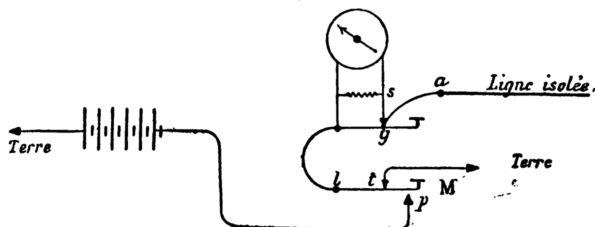
Dans cette expérience, le bout de la ligne sur lequel on ne prend pas communication *doit être isolé.*

La pile ne doit pas dépasser 10 éléments; elle est plus faible encore, si la ligne a une grande longueur.

I. Mêmes communications que dans l'expérience précédente : *décharge*. Après que la pile dont on doit se servir a été reliée à la borne p de la clef M, on opère comme plus haut. Soient n la division lue et $\frac{1}{p}$ le shunt employé.

II. Remplacer en a le condensateur par la ligne dont l'autre bout est isolé; mettre au galvanomètre un shunt convenable (*fig.* 7) :

Fig. 7.



1° Mettre en prise la clef M avec son contact de pile p, en observant sur une montre à secondes l'instant où l'on établit le contact;

2° Au bout de 15 secondes, simultanément abaisser la clef du galvanomètre g, et déclencher la clef M qui vient sur son contact t. Il est essentiel que la clef g ne soit pas en retard sur l'autre; elle peut, sans inconvénient, être un peu en avance;

3° Lire l'impulsion : soit n', avec le shunt $\frac{1}{p}$.

III. Calcul de l'expérience. La capacité de la ligne est, en supposant que le condensateur étalon soit de 1/3 microfarad,

$$C = \frac{n'(p'+1)}{n(p+1)} \cdot \frac{1}{3} \text{ microfarads.}$$

Exemple. Soient 103 la division et 1/9 le shunt avec le condensateur; soient 132 la division et 1/999 le shunt avec la ligne. La capacité de la ligne est

$$C = \frac{132 \times (999 + 1)}{103 \times (9 + 1)} \cdot \frac{1}{3} = 42,71 \text{ microfarads},$$

et si la ligne a 200 kilomètres, sa capacité kilométrique sera :

$$c = \frac{42,71}{200} = 0,2135 \text{ microfarads}.$$

3° *Chute de charge.* — La chute de charge d'une ligne, chargée pendant un temps donné, puis isolée pendant un autre temps donné, a pour mesure le rapport de l'impulsion donnée à l'aiguille par la décharge de la ligne après son isolement, à l'impulsion donnée par la décharge de cette ligne chargée le même temps, et mise aussitôt à la terre.

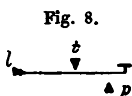
I. La décharge instantanée a été produite et notée dans l'expérience précédente.

II. Sans rien changer ni aux communications ni au shunt :

1° Abaisser la clef M et la laisser en prise sur son contact *p*, pendant 15 secondes;

2° Déclencher la clef M de façon à l'amener à sa position d'isolement, et la laisser ainsi 1 minute (*fig.* 8);

Fig. 8.



3° Vers la fin de la minute, abaisser la clef de galvanomètre *g*;

4° A la fin de la minute, déclencher la clef M qui vient sur son contact *t*.

5° Lire l'impulsion.

III. *Calcul de l'expérience.* Soient n' et $\frac{1}{p'}$ la division

et le shunt pour la décharge instantanée; soient n'' et $\frac{1}{p'}$ la division et le shunt, qui est resté le même, pour la deuxième opération. La perte pour 100, après 15 minutes de charge, et 1 seconde d'isolement, est

$$\frac{n' - n''}{n'}.$$

Exemple. Soient 132 et 127 les divisions lues pour la décharge instantanée, et pour la décharge après 1 minute d'isolement. La perte pour 100 est

$$\frac{132 - 127}{132} = 4 \text{ p. } 100 \text{ environ.}$$

4° *Mesure de l'isolement.* — La résistance d'isolement d'une ligne se mesure par l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre, lorsqu'une pile de force électromotrice connue est mise par un de ses pôles à la terre, et par l'autre pôle en communication avec la ligne *dont l'autre bout est isolé.* Pour éviter d'avoir à faire la détermination absolue de la force électromotrice de la pile et de l'intensité du courant, on compare la déviation du galvanomètre dans le cas précédent à la déviation qu'il accuse lorsqu'il est traversé par le courant d'une pile dont le rapport à la pile employé est connu par l'expérience 1°, et dont le circuit présente une résistance connue.

I. Mêmes communications que dans les cas précédents.

1° La grande pile étant reliée à la borne p de la clef M (*fig.* 7), on abaisse cette clef, en observant sur une montre à secondes l'instant où l'on a établi le contact de pile;

2° On abaisse la clef g. L'aiguille du galvanomètre reçoit une impulsion, et, après plusieurs oscillations, prend une position stable;

3° On lit la division de l'échelle indiquée par l'aiguille, *une minute après que le courant a été établi,* et l'on con-

tinue les lectures pendant un temps variable, suivant l'importance de la mesure que l'on fait, de 5 à 30 minutes;

4° Au bout du temps voulu, on relève la clef du galvanomètre, et aussitôt on déclenche la clef de pile qui vient sur son contact *t*, puis on abaisse de nouveau la clef *g*;

5° Après une série d'oscillations, l'aiguille prend de nouveau une position stable, et l'on prend des lectures de décharge à intervalles réguliers, pendant un temps variable déterminé;

6° Au bout de ce temps, ou d'un temps plus long si le galvanomètre n'est pas encore revenu au zéro, c'est-à-dire quand le câble est déchargé complètement, on recommence la même série d'opérations en changeant le pôle de la pile mis en communication avec la ligne.

Si l'on n'a pas le temps d'opérer avec les deux sens de courant, on devra toujours employer le courant négatif (zinc à la ligne). La pile, pour un essai d'isolement, ne doit pas être moindre que 100 éléments Leclanché.

Soient N et N′ les lectures faites après une minute de charge pendant l'envoi des deux courants, $\frac{1}{p}$ le shunt.

Lorsqu'une ligne est bien isolée, on n'observe point de sauts brusques, mais des variations très lentes et régulières durant les lectures de charge ou de décharge.

II. Les lectures de décharge après l'envoi du second courant étant terminées, détacher la ligne de la borne *a*, la mettre à la terre, et recommencer les opérations précédentes, pendant une minute sans rien attacher à la borne *a*.

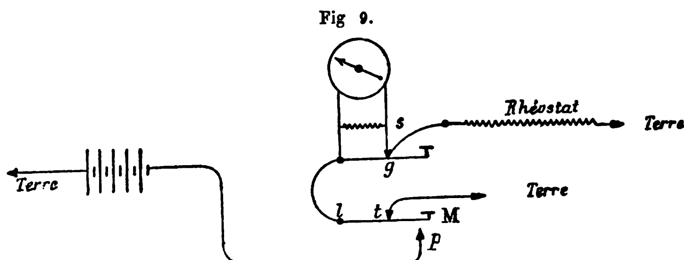
On détermine ainsi la perte aux appareils.

Soient ν et ν' les lectures faites, $\frac{1}{\pi}$ le shunt.

5° *Constante du galvanomètre.* — Cette expérience est destinée à fournir un terme de comparaison pour le calcul de l'isolement.

I. 1° Remplacer à la borne P (*fig.* 9) la grande pile

Fig 9.



par une autre plus faible dont le rapport avec la grande a été déterminé;

2° Attacher en *a* un rhéostat dont l'autre bout est mis à la terre, et dans lequel on prend une résistance de 10.000 ohms;

3° Le galvanomètre ayant le shunt 1/99, on abaisse la clef M, et on la laisse en prise;

4° On abaisse la clef *g* : le galvanomètre dévie, et après une série d'oscillations, se fixe sur une division que l'on relève. Soit A cette division.

II. *Calcul de la constante du galvanomètre.* Dans les expériences ordinaires, on se contente de ce résultat, et l'on dit que la constante du galvanomètre est de A pour $10.000 \times 100 = 1.000.000$ ohms, ce qu'on énonce : constante pour 1 mégohm = A. Dans les expériences de précision, on doit tenir compte : de la résistance du galvanomètre, qui est toujours connue et inscrite sur les appareils, et de la résistance de la pile que nous allons mesurer.

6° *Résistance intérieure de la pile.* — On ajoute aux communications de l'expérience précédente un fil de cuivre fin placé entre les bornes du shunt.

I. 1° On prend dans le rhéostat une résistance arbitrairement choisie, mais pas trop élevée;

2° On abaisse successivement la clef de pile M et la clef g, et l'on observe la déviation du galvanomètre;

3° Laissant alors les clefs en prise, on cherche par tâtonnement dans le rhéostat une résistance qui réduise à moitié la déviation du galvanomètre, le shunt restant le même.

II. *Calcul de la résistance de la pile.* Soient r la résistance que l'on avait prise d'abord dans le rhéostat, et r' celle qui réduit à moitié la déviation; la résistance de la pile est

$$P = r' - 2r.$$

Exemple. Soient 2240 et 4512 ohms les résistances prises successivement dans le rhéostat : la résistance de la pile est alors

$$P = 4512 - 2 \times 2240 = 32 \text{ ohms}.$$

Nous avons alors les éléments nécessaires pour faire le calcul de l'isolement.

1° Calcul approximatif de l'isolement :

Soient N et N' les lectures faites après une minute pour les deux courants, avec le shunt $\frac{1}{p}$;

Soient ν et ν' les pertes des appareils avec le shunt $\frac{1}{\pi}$; enfin, soit A la constante du galvanomètre pour 1 mégohm, et pour une pile dont la force électromotrice est à la force électromotrice de la grande pile dans le rap-

port de $\frac{1}{e}$. La résistance d'isolement de la ligne sera :

$$I = \frac{eA}{\frac{(N+N')(P+1)-(\nu+\nu')(\pi+1)-\rho}{2}} \text{ megohms.}$$

Exemple. Soient :

285 avec le shunt au 1/9 la lecture après 1 minute;
136 sans shunt la perte aux appareils, en courant négatif.

Soient :

279 avec shunt au 1/9 la lecture après 1 minute;
228 sans shunt la perte aux appareils, en courant positif;
95 le résidu,

c'est-à-dire la division qu'indiquait encore le galvanomètre, dans la décharge du courant négatif, quand on a commencé à envoyer le courant positif.

On a donc, pour valeur du dénominateur,

2590,5.

Si la constante est 247, et si le rapport des piles est 120, on aura, pour la résistance d'isolement,

$$I = \frac{247 \times 120}{2590} = 11.4 \text{ mégohms.}$$

II. Calcul exact de l'isolement. Soient R la résistance de la pile, g celle du galvanomètre, $\frac{1}{99}$ le shunt employé pour prendre la constante. La résistance d'isolement sera

$$I = \frac{eA}{\frac{(N+N')(P+1)-(\nu+\nu')(\pi+1)}{2}} \cdot \frac{10.000 + R + \frac{g}{99+1}}{10.000} \text{ még.}$$

Et dans l'exemple précédent, si la résistance du galva-

nomètre est de 6.000 ohms,

$$I = \frac{120 \times 247}{2.590} \cdot \frac{10.000 + 32 + 60}{10.000} = 115.048 \text{ mégohms.}$$

L'isolement total de la ligne étant ainsi calculé, l'isolement kilométrique s'en déduit en multipliant l'isolement total par le nombre de kilomètres qui représente la longueur de la ligne. Si, comme on l'a déjà supposé, cette longueur est de 200 kilomètres, l'isolement kilométrique sera

$$11.5 \times 200 = 2.300 \text{ mégohms.}$$

7° *Résistance du conducteur.* — Si le circuit d'une pile, bifurqué à partir d'un certain point, comprend : dans une branche, deux séries de résistances étalonnées; dans l'autre branche, une série de résistances étalonnées et la ligne, dont le bout éloigné est mis à la terre; et si l'on établit entre le point de jonction des deux séries de résistances de la première branche et le point de jonction des résistances et de la ligne dans la seconde branche, une dérivation renfermant un galvanomètre, cet instrument cesse d'accuser le passage d'un courant et reste au repos, lorsque le rapport des résistances prises dans les deux séries de la première branche est égal au rapport des résistances du rhéostat et de la ligne dans la seconde branche.

On dispose d'une caisse renfermant les trois groupes de résistances nécessaires.

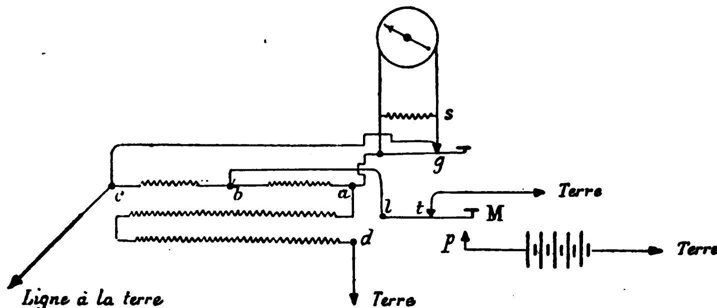
La ligne étant mise à la terre par son extrémité éloignée, et les communications établies comme sur la *fig.* 10 :

1° Prendre dans le rhéostat *ab* et dans *bc* des résistances égales;

2° Prendre dans le rhéostat *ad* une résistance de même ordre de grandeur que celle de la ligne;

3° Le galvanomètre étant dérivé au 1/999, abaisser rapidement la clef de pile, puis la clef *g*; on observe de quel côté dévie le galvanomètre;

Fig. 10.



4° Laissant la clef *g*, puis la clef de pile revenir au repos, on prend dans le rhéostat *ad* une autre résistance, et l'on renouvelle l'épreuve précédente. On tâtonne ainsi jusqu'à ce que l'on ait trouvé deux résistances du rhéostat *ad* pour lesquelles les déviations du galvanomètre soient en sens inverses l'une de l'autre.

5° On continue alors de tâtonner dans l'intervalle de ces résistances, de façon à en trouver deux autres plus voisines qui donnent lieu à des déviations du galvanomètre de sens contraires, et ainsi de suite. Lorsque les déviations deviennent très faibles, on peut diminuer peu à peu le shunt du galvanomètre. On arrive finalement à trouver deux résistances différant d'une seule unité et donnant des déviations de sens contraires. La résistance de la ligne est, comme première approximation, la moyenne de ces deux résistances.

Si l'on veut plus d'exactitude, on prend dans le rhéostat *ab* une résistance dix fois, cent fois plus grande que dans *bc*, et dans le rhéostat *ad* une résistance dix fois,

cent fois plus grande que la plus faible de celles que l'on avait trouvées dans la première approximation; et l'on continue l'essai de même. Lorsque l'on a trouvé par tâtonnement deux résistances différant d'une unité et donnant au galvanomètre des déviations de sens contraires, la moyenne de ces résistances est égale à dix fois, à cent fois la résistance de la ligne.

Dans cet essai, on n'a besoin de voir que le sens dans lequel dévie le galvanomètre, et non de lire la grandeur de cette déviation; on évitera donc d'envoyer le courant pendant longtemps à travers l'appareil.

On abaissera toujours la clef de pile avant la clef *g*, et l'on relèvera toujours la clef *g* avant la clef de pile.

Dans les expériences de précision, il est bon de faire deux essais, avec les deux courants successivement, et de prendre pour résultat final la moyenne des deux résultats obtenus.

La pile à employer ne doit pas être supérieure à dix éléments Callaud : il est bon de ne pas employer pour cet usage des éléments empruntés à la pile qui sert pour les essais d'isolement, mais d'avoir quelques éléments spécialement réservés à cet usage.

Si, opérant avec des résistances égales des rhéostats *ab* et *bc*, on trouve la résistance à mesurer supérieure à la valeur totale du rhéostat *ad*, on prend dans *bc* une résistance dix fois, cent fois plus grande que celle de *ab*; la résistance de *ad* pour laquelle on a l'équilibre est dix fois, cent fois plus petite que la résistance de la ligne.

Exemple. Prenant les valeurs de *ab* et *bc* égales à 100, et le galvanomètre étant dérivé au 1/999, on prend dans *ad*

une résistance égale à	10,	ou à une déviation	à droite, p. ex.
—	1000,	—	à gauche.

Donc la résistance à mesurer est comprise entre 10 et 1.000. Si pour

une résistance égale à 100, on a une déviation à droite,

la résistance à mesurer sera comprise entre 100 et 1.000, etc.

8° *Essai des soudures des câbles télégraphiques.* — Cet essai est complètement indépendant des mesures précédentes.

Il est essentiel de s'assurer, pendant la construction d'une ligne en câbles, que les soudures réunissant les différents bouts les uns aux autres ne présentent pas de défauts d'isolement. On admet généralement qu'une soudure, de 10 à 15 centimètres de longueur, ne doit pas perdre plus qu'un morceau de 1 mètre pris dans le même câble, mais c'est là essentiellement une affaire d'appréciation.

Une fois que l'on a déterminé, par des considérations de divers ordres, le maximum de la perte qui peut être tolérée dans une soudure, la vérification peut être faite de la façon suivante.

Il est clair que, pour de petites longueurs, la méthode ordinaire de mesure des résistances d'isolement est mise en défaut. On supposera pour la facilité des explications que le maximum de perte admis pour une soudure soit égal à la perte de 1 mètre de câble.

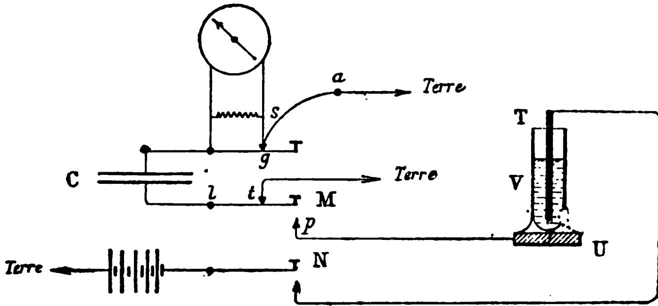
I. Préparation du fil normal.

1° On prend un vase en verre ou en une autre substance isolante, on le remplit d'eau distillée, et l'on vérifie qu'il ne laisse point fuir l'électricité.

2° A cet effet, on le place sur une plaque métallique V (*fig.* 11) reliée à une armature d'un condensateur par l'intermédiaire du contact *p* de la clef M. Le contact *t* de cette

clef est mis à la terre. L'autre armature du condensateur est également à la terre à travers le galvanomètre G, son

Fig. 11.



shunt s, et la clef g. Dans l'eau du vase V, on plonge une tige métallique T que l'on relie par la clef à la pile qui sert aux essais d'isolement. L'autre pôle de cette pile est à la terre.

3° On abaisse la clef N pendant un temps déterminé, soit par exemple 1 minute, la clef M étant sur son contact p.

4° On relève la clef N, et aussitôt on abaisse la clef g, et l'on déclenche la clef M qui vient sur son contact t. On observe le galvanomètre qui, si le vase employé est bon, ne doit pas dévier, même lorsqu'il n'a plus de shunt.

5° Le vase V choisi, on prend 1 mètre de câble, coupé dans un bout de grande longueur dont on a vérifié l'isolement, et qui, par conséquent, n'a pas de défauts, on en nettoie les extrémités comme pour faire une soudure, et on le place dans le verre V, en ayant soin que les extrémités et en particulier le conducteur ne soient point mouillés par l'eau. On a ainsi un fil normal.

II. Perte du fil normal. Les communications de l'expérience précédente ne sont que légèrement modifiées. La

pile (*fig.* 12) est détachée de la tige T, laquelle est reliée au contact *p* de la clef M, au lieu de la plaque métallique V. La pile est reliée à l'un des bouts du conducteur du fil normal F, dont l'autre bout reste isolé.

Fig. 12.

1° On abaisse la clef N, et on la laisse sur contact pendant un temps déterminé, soit 1 minute, la clef M étant sur son contact *p*;

2° Au bout de la minute, on rompt le contact en N, on abaisse la clef *g*, et l'on déclenche la clef M qui vient sur son contact *t*;

3° On observe la déviation du galvanomètre.

Le fil normal une fois préparé, on peut observer sa perte une fois pour toutes et en prendre note. Il est plus exact toutefois de renfermer le fil normal dans un vase hermétiquement clos et traversé seulement par le bout F sur lequel on prend communication et par la tige T. Le fil normal fait alors partie du matériel d'expériences, et sa perte est déterminée à chaque essai de soudure, comme il vient d'être dit.

III. **Perte de la soudure.** La perte du fil normal étant connue, soit par une mesure une fois faite, soit par une

détermination directe au moment de l'essai d'une soudure, on procède à ce dernier essai de la façon suivante.

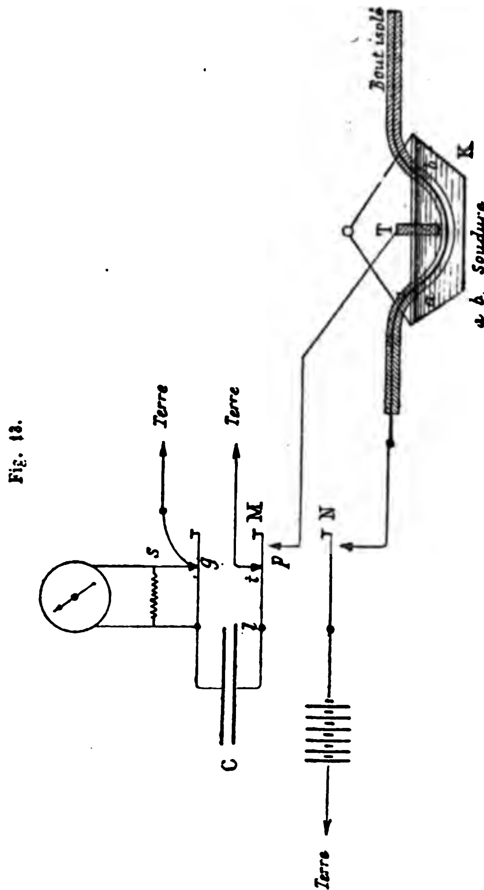


Fig. 13.

1° On a une caisse métallique recouverte extérieurement de gutta-percha, et suspendue par des cordes de gutta-percha et des crochets de métal à un support formé des tiges de fer revêtues de gutta-percha. On remplit

d'eau cette caisse, et l'on vérifie son isolement comme celui du vase V, la plaque de métal U (*fig.* 13) étant remplacée par les crochets de suspension. Les supports en gutta-percha de cette caisse sont nettoyés jusqu'à ce que la perte, s'il y en a une, soit devenue insignifiante.

2° La soudure, terminée depuis un temps suffisant et laissée depuis lors à refroidir dans de l'eau, est essuyée avec soin, de façon qu'il ne reste pas d'humidité à la surface du câble.

3° Le bout du câble opposé à celui où l'on prend communication est isolé.

4° On introduit la soudure *ab* dans l'eau de la caisse K.

5° On met dans l'eau de cette caisse une lame métallique, T que l'on relie au contact *p* de la clef M.

6° Le conducteur du câble est relié à la clef N.

7° On abaisse la clef N, et on la laisse sur contact le temps convenu, soit 1 minute, M étant sur *p*.

8° On relève la clef N, on abaisse la clef *g*, et l'on déclenche M qui vient sur *t*.

9° On observe l'impulsion du galvanomètre.

La soudure est bonne ou mauvaise, suivant que cette impulsion est plus petite ou plus grande que celle obtenue avec le fil normal.

SÉLIGMANN-LUI et TOUGAS,
Sous-ingénieurs des télégraphes.

CAPACITÉ ÉLECTROSTATIQUE ET RÉSISTANCE

DE

L'ESPACE COMPRIS ENTRE DEUX CYLINDRES PARALLÈLES A BASE CIRCULAIRE.

I.

CAPACITÉ ÉLECTROSTATIQUE.

1. Les condensateurs se composent de deux surfaces conductrices ou armatures, dont l'une enveloppe l'autre aussi complètement que possible, et qui sont maintenues à des potentiels constants par leur communication avec deux sources électriques ; l'une des deux sources est ordinairement le sol, dont on considère le potentiel comme étant égal à zéro.

Les charges électriques accumulées sur les surfaces en présence des deux armatures sont égales et de signes contraires ; si on les représente par Q et — Q, et si $V - V_1$ est la différence des potentiels auxquels elles sont maintenues, le rapport $\frac{Q}{V - V_1}$ constitue ce qu'on nomme la capacité électrostatique du condensateur. Ce rapport devient $\frac{Q}{V}$, si l'une des armatures est en communication avec le sol, et si V est le potentiel de la seconde.

Les corps environnants, électrisés ou non, n'ont aucune influence sur la charge des condensateurs lorsque l'armature extérieure, en relation avec la terre, enveloppe complètement l'armature intérieure.

La capacité électrostatique $\frac{Q}{V-V_1}$ dépend de la forme, des dimensions et de l'éloignement des surfaces conductrices en présence; elle varie en outre avec la nature du corps isolant qui les sépare. Si δ représente cette dernière influence, qui constitue le pouvoir spécifique inducteur du diélectrique, on peut poser

$$\frac{Q}{V-V_1} = \delta S.$$

S est la capacité électrostatique dans le cas où δ est égal à l'unité; sa valeur dépend uniquement de la forme géométrique des condensateurs et peut se calculer directement dans quelques cas particuliers. Le calcul se fait facilement, par exemple, lorsque la densité de l'électricité sur les surfaces conductrices est uniforme, ce qui a lieu dans le cas où les deux surfaces sont des sphères concentriques ou des cylindres indéfinis, également concentriques.

2. On sait que le potentiel en un point quelconque est égal à la somme $\sum \frac{m}{r}$ des rapports des masses électriques qui se trouvent dans l'espace à leur distance à ce point, et que, lorsque l'équilibre existe dans une distribution électrique, ce potentiel a la même valeur en tous les points d'un même conducteur ou de l'espace entouré par un conducteur, s'il ne s'y trouve pas d'électricité à l'état libre. On sait de plus que l'action exercée par des masses électriques extérieures à un conducteur fermé sur tout point enveloppé par ce conducteur est nulle (voir les présentes *Annales*, année 1880, page 398). On n'a donc à considérer dans l'étude des condensateurs que les masses électriques répandues sur les deux surfaces en présence, et pour avoir leur capa-

cité électrostatique, il suffit de connaître le rapport de leur charge à la différence de potentiel de deux points quelconques des armatures.

Si le condensateur est formé de deux surfaces sphériques concentriques, dont Q et —Q représentent les charges électriques, et si V_1 est le potentiel de l'armature extérieure, on a pour le potentiel V au centre de la sphère intérieure, en représentant par r et par R les rayons :

$$V = V_1 + \frac{Q}{r} - \frac{Q}{R};$$

La capacité électrostatique $S = \frac{Q}{V - V_1}$ a donc pour valeur

$$S = \frac{1}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}} = \frac{Rr}{R - r}.$$

Pour deux cylindres concentriques assez longs pour pouvoir être considérés comme indéfinis, de rayons R et r, la capacité électrostatique pour une longueur l est

$$S = \frac{l}{2 \log \text{nép.} \frac{R}{r}}.$$

Enfin, pour deux surfaces planes parallèles indéfinies situées à une distance D, la capacité qui correspond à une surface A est

$$S = \frac{A}{4\pi D}.$$

3. Lorsque les surfaces des condensateurs ne sont pas des sphères ou des cylindres concentriques, la densité n'est pas uniforme, et il est nécessaire, pour avoir la charge et en déduire la capacité électrostatique, de déterminer la forme des courbes équipotentielles. La densité

de l'électricité, en chaque point des conducteurs, ou plutôt le produit de la densité par l'épaisseur de la couche électrique est donnée par la formule

$$S = -\frac{1}{4\pi}\frac{dV}{dn},$$

dV étant la variation du potentiel, quand on passe de l'un des points du conducteur à une distance infiniment petite dn prise sur la normale (*Annales télégraphiques*, année 1880, page 397).

La charge qui correspond à un élément de surface $d\sigma$ est $Sd\sigma$, ou

$$-\frac{1}{4\pi}\frac{dV}{dn}d\sigma.$$

Enfin la charge totale Q est égale à l'intégrale

$$-\frac{1}{4\pi}\int\frac{dV}{dn}d\sigma,$$

étendue à la surface entière de l'armature du condensateur.

4. Si l'on conçoit trois axes rectangulaires, et si l'on prend les dérivées secondes du potentiel, $V = \sum \frac{m}{r}$, par rapport à x, y et z, on est conduit, pour tout point extérieur aux masses électriques, à l'équation

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = 0,$$

qu'on représente ordinairement par le symbole

$$\Delta V = 0.$$

On obtient les potentiels aux divers points de l'espace en intégrant cette expression et en déterminant les constantes par la condition que V ait une même valeur dans toute l'étendue de chacun des corps conducteurs, et que

cette valeur soit égale à celle de la source électrique avec laquelle ils sont en communication. Si certains corps sont isolés, leur charge électrique totale doit être la même que s'ils existaient seuls dans le champ.

5. Il est un cas où le calcul se fait facilement, c'est celui où l'on considère seulement deux cylindres parallèles indéfinis, à base circulaire, et qui sont maintenus à des potentiels constants. Ce cas est intéressant à étudier, car c'est celui qui se présente pour deux longs fils télégraphiques d'une même ligne; c'est celui qu'a étudié M. Gaugain dans les expériences qu'il a faites pour comparer les lois de la propagation de l'électricité à celles de la condensation.

La distribution est la même pour tous les points d'une même génératrice, et l'on peut se borner à n'envisager que deux cercles situés dans le même plan. L'équation différentielle se réduit alors :

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} = 0, \tag{1}$$

dont l'intégrale générale peut se mettre sous la forme

$$V = M + A \log r + A' \log r' + A'' \log r'' + \text{etc.}, \tag{2}$$

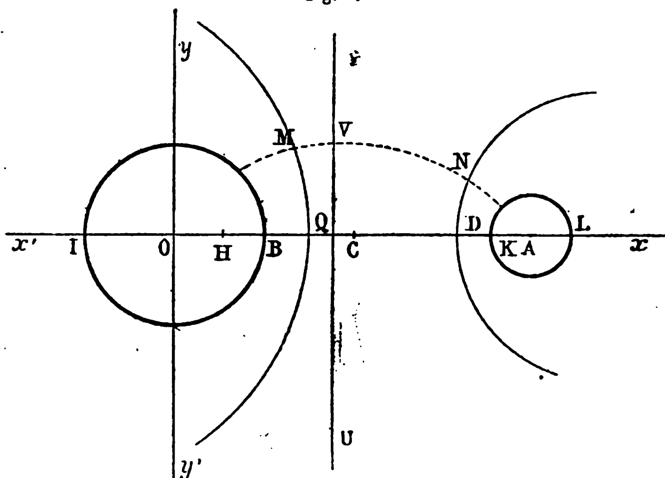
M, A, A', A'', etc., étant des constantes, et r, r', r'', etc., les distances du point du plan dont le potentiel est V à un certain nombre de centres fixes dont la position se détermine, ainsi que les valeurs des constantes, de façon à remplir les conditions du problème.

Il est facile, en effet, de reconnaître que la somme des dérivées secondes $\frac{d^2V}{dx^2}$ et $\frac{d^2V}{dy^2}$, tirées de l'équation (2), est nulle.

Nous déterminerons d'abord la forme des surfaces équipotentielles dans l'espace compris entre les deux circonférences.

6. Soient O et A les centres des deux circonférences qui représentent les traces des deux cylindres dont le premier est maintenu au potentiel V_1, et le second au potentiel V_2; soient R_1 et R_2 leurs rayons et a la distance OA des deux centres.

Fig. 1.



Prenons pour axes deux coordonnées la ligne $x'x$ des centres et une normale yy' à cette ligne, menée par le point O.

Les deux circonférences ont pour équations

$$(3) \qquad \begin{cases} x^2 + y^2 = R_1^2, \\ (x-a)^2 + y^2 = R_2^2. \end{cases}$$

Les conditions du problème pourront être remplies, en ne prenant que les trois premiers termes de l'intégrale générale (2) et en faisant $A' = -A$. Elle devient alors

$$(4) \qquad V = M + A \log r - A \log r',$$

ou

$$V = M + A \log \frac{r}{r'} = M + \frac{A}{2} \log \frac{r^2}{r'^2}.$$

Le potentiel V sera en effet constant pour toutes les les courbes qui correspondront à une même valeur de $\frac{r}{r'}$, et l'on peut rendre identiques avec les équations des deux cercles donnés les courbes représentées par

$$(5) \qquad \frac{r^2}{r'^2} = C^2 \quad \text{et} \quad \frac{r^2}{r'^2} = C'^2,$$

dans lesquelles C et C′ désignent deux constantes.

Quant à M et A, leurs valeurs seront données par les deux relations

$$(6) \qquad \begin{cases} V_1 = M + A \log C, \\ V_2 = M + A \log C'. \end{cases}$$

7. Désignons par α et β les coordonnés du point d'où partent les rayons r, par α' et β' ceux du point qui correspondent aux rayons r'; les deux équations (5) deviennent

$$(7) \qquad \begin{cases} \dfrac{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2}{(x-\alpha')^2 + (y-\beta')^2} = C^2, \\ \dfrac{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2}{(x-\alpha')^2 + (y-\beta')^2} = C'^2. \end{cases}$$

En identifiant ces deux équations avec les équations (3), on reconnaît facilement que β et β' doivent être nuls, comme on pouvait s'y attendre, tout devant être symétrique par rapport à l'axe $x'x$, et l'on est conduit aux quatre relations suivantes

$$(8) \qquad \begin{cases} \alpha - \alpha' C^2 = 0, \\ \dfrac{\alpha^2 - \alpha' C^2}{C^2 - 1} = R_1^2, \\ \dfrac{\alpha' C'^2 - \alpha}{C'^2 - 1} = a, \\ \dfrac{\alpha' C'^2 - \alpha^2}{C'^2 - 1} = a^2 - R_2^2, \end{cases}$$

qui peuvent se mettre sous la forme

$$(9)\qquad \begin{cases} C^2 = \dfrac{\alpha}{\alpha'}, \\ C'^2 = \dfrac{a-\alpha}{a-\alpha'}. \end{cases}$$

$$(10)\qquad \begin{cases} \alpha\alpha' = R_1^2, \\ (a-\alpha)(a-\alpha') = R_2^2; \end{cases}$$

Il résulte des deux dernières équations que l'un des points, H, d'où partent les rayons vecteurs, se trouve à l'intérieur du cercle O, entre O et B (*fig.* 1), et l'autre, K, à l'intérieur du cercle A, entre A et D.

Les valeurs de α et de α' sont données par l'équation

$$(11)\qquad \alpha^2 - \frac{a^2 + R_1^2 - R_2^2}{d}\alpha + R_1^2 = 0,$$

d'où l'on tire

$$(12)\qquad \begin{cases} OH = \alpha = \\ \dfrac{a^2 + R_1^2 - R_2^2 - \sqrt{(a+R_1+R_2)(a+R_1-R_2)(a-R_1+R_2)(a-R_1-R}}{2d} \\ OK = \alpha' = \\ \dfrac{a^2 + R_1^2 - R_2^2 - \sqrt{(a+R_1+R_2)(a+R_1-R_2)(a-R_1+R_2)(a-R_1-R}}{2d} \end{cases}$$

Les valeurs de α et de α' peuvent se construire par des procédés géométriques en remarquant que la quantité sous le radical est égale au produit $IL \times ID \times BL \times BD$ (*fig.* 1).

Quant aux valeurs de C et de C', elles se déduisent des deux équations (9).

Enfin, pour les constantes M et A, on a, d'après les relations (6),

$$(13)\qquad A = \frac{V_1 - V_2}{\log \frac{C}{C'}}$$

et

(14) $$M = \frac{V_2 \log C - V_1 \log C'}{\log \frac{C}{C'}}.$$

Si les potentiels V_1 et V_2 sont égaux et de signes contraires,

$$A = \frac{2V_1}{\log \frac{C}{C'}}$$

et

$$M = - \frac{V_1 \log CC'}{\log \frac{C}{C'}}.$$

Enfin, si le potentiel V_2 est nul,

$$A = \frac{V_1}{\log \frac{C}{C'}}$$

et

$$M = \frac{- V_1 \log C'}{\log \frac{C}{C'}}.$$

8. α et α' étant ainsi déterminés, ainsi que A et M, on a pour la valeur du potentiel en un point quelconque de l'espace, dont les coordonnés sont x et y.

(15) $$V = M + \frac{A}{2} \log \frac{(x-\alpha)^2 + y^2}{(x-\alpha')^2 + y^2}.$$

Les courbes équipotentielles sont données par la formule

$$\frac{(x-\alpha)^2 + y^2}{(x-\alpha')^2 + y^2} = K^2,$$

K étant une constante quelconque.

Ces courbes représentent des circonférences dont le centre est situé sur l'axe xx', et dont l'équation peut se mettre sous la forme

(16) $$x^2 + y^2 - \frac{2(\alpha - K^2\alpha')}{1-K^2} x + \frac{\alpha^2 - K^2\alpha'^2}{1-K^2} = 0.$$

Une partie de ces cercles entoure l'électrode dont le rayon est OB, les autres entourent l'électrode dont le rayon est AD; le centre de chacun d'eux est situé à une distance de l'origine représentée par

$$\frac{\alpha - K^2\alpha'}{1 - K^2},$$

K pouvant avoir toutes les valeurs possibles de $-\infty$ à $+\infty$.

9. Si l'on fait $K = 1$, l'équation de la courbe équipotentielle (16) devient $x = \frac{\alpha + \alpha'}{2}$, ou, en remplaçant α et α' par leurs valeurs (équation 12)

$$x = \frac{d^2 + R_1^2 - R_2^2}{2d}.$$

Cette courbe est une ligne droite VU normale à l'axe des x, qu'elle rencontre en un point Q situé plus près du centre O de la plus grande des deux circonférences que de l'autre.

Les lignes qui représentent en chaque point la direction de la force électrique sont normales aux surfaces équipotentielles; elles ont la forme de la courbe MVN.

10. Pour avoir la capacité électrostatique du condensateur, il faut calculer la charge électrique de l'un des deux cylindres, que nous considérons comme existant seuls dans l'espace.

La charge dQ, qui correspond à un élément $d\sigma$ d'une surface conductrice électrisée, a pour valeur, ainsi qu'il a été dit plus haut (n° 3),

$$dQ = -\frac{1}{4\pi}\frac{dV}{dn}\,d\sigma, \tag{17}$$

$\frac{dV}{dn}$ étant l'accroissement de potentiel qui correspond à une distance dn, comptée sur la normale à la surface.

Dans le cas de cylindres indéfinis, la distribution est la même sur toute la longueur d'une même génératrice, et l'on peut remplacer $d\sigma$ par le produit d'une longueur l du cylindre par un élément ds, de la circonférence directrice ; dQ devient alors

$$dQ = -\frac{l}{4\pi} \times \frac{dV}{dn} ds$$

et par suite

$$Q = -\frac{l}{4\pi} \int \frac{dV}{dn} ds;$$

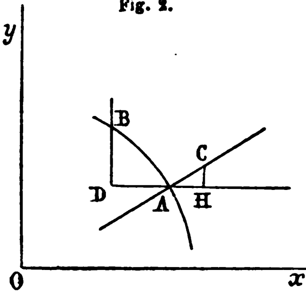
$\frac{dV}{dn}$ peut se mettre sous la forme

$$\frac{dV}{dn} = \frac{dV}{dx}\frac{dx}{dn} + \frac{dV}{dn}\frac{dy}{dn},$$

et par suite on a

$$Q = -\frac{l}{4\pi} \int \left(\frac{dV}{dx}\frac{dx}{dn} ds + \frac{dV}{dy}\frac{dy}{dn} ds \right).$$

Fig. 2.



Soit AB (*fig.* 2) l'élément ds de la courbe considérée, AC la normale dn, AH et CH les éléments dx et dy des coordonnés qui correspondent aux positions relatives des points A et C.

On a :

$$\frac{dx}{dn} = \cos \text{CAH},$$

$$\frac{dy}{dn} = \sin \text{CAH}.$$

La valeur de Q peut donc se mettre sous la forme :

$$Q = -\frac{l}{4\pi} \int \left(\frac{dV}{dx} ds \times \cos \text{CAH} + \frac{dV}{dy} ds \times \sin \text{CAH} \right).$$

Si l'on abaisse de l'extrémité B de l'arc AB une per-

pendiculaire sur la ligne HA prolongée, et si $-dx$ et dy sont les éléments DA et DB des coordonnés du point B par rapport au point A, on a

$$dy = \text{BD} = \text{AB} \sin \text{BAD} = ds \cos \text{CAH}$$

et

$$-dx = \text{AD} = \text{AB} \cos \text{BAD} = ds \sin \text{CAH},$$

d'où

$$\cos \text{CAH} = \frac{dy}{ds}$$

et

$$\sin \text{CAH} = -\frac{dx}{ds},$$

et par suite

$$Q = -\frac{l}{4\pi} \int \left(\frac{dV}{dx} dy - \frac{dV}{dy} dx \right).$$

Telle est l'équation qu'il faut intégrer pour toute l'étendue du cercle qui forme un des électrodes.

11. On a vu que la valeur du potentiel en un point quelconque est donnée par l'équation

$$V = M + A \log r - A \log r'.$$

Calculons l'expression $\int \left(\frac{dV}{dy} dy - \frac{dV}{dy} dx \right)$ par un terme général de la forme

$$A \log r \quad \text{ou} \quad A \log \sqrt{(x-m)^2 + (y-n)^2},$$

et admettons que les logarithmes soient des logarithmes népériens; on a :

$$\frac{dV}{dx} = A \times \frac{x-m}{(x-m)^2 + (y-n)^2},$$

$$\frac{dV}{dy} = A \times \frac{y-n}{(x-m)^2 + (y-n)^2}.$$

$\frac{dV}{dx} dy - \frac{dV}{dy} dx$ devient donc :

$$A \left[\frac{(x-m)dy - (y-n)dx}{(x-m)^2 + (y-n)^2} \right]$$

ou

$$A \frac{d\,\frac{y-n}{x-m}}{1+\left(\frac{y-n}{x-m}\right)^2},$$

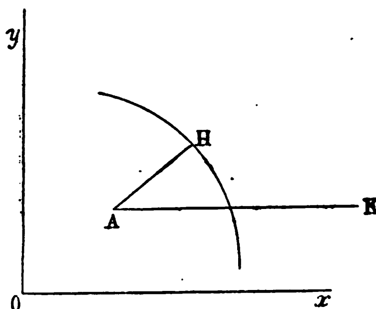
dont l'intégrale générale est

$$A \operatorname{arc\,tang} \frac{y-n}{x-m}.$$

Cette intégrale doit être prise pour toute l'étendue de la courbe considérée.

Si A (*fig.* 3) est le point dont les coordonnés sont m et n, $\operatorname{arc\,tang} \frac{y-n}{x-m}$ représentera l'angle formé par la ligne AH, menée par le point A et celui dont les coordonnés sont x et y, avec la parallèle AK à l'axe des x.

Fig. 3.



Pour un terme, log. r, tel que le point d'où partent les rayons vecteurs r se trouve à l'intérieur de la courbe, l'angle AOH doit varier de 0 à 2π, et l'on a

$$\int \left(\frac{dV}{dx}\,dy - \frac{dV}{dz}\,dz\right) = 2\pi.$$

Si, au contraire, le point d'où partent les rayons vecteurs est extérieur à la courbe fermée, le rayon revient à sa position de départ en passant par les mêmes positions, et l'intégrale est nulle.

Or un seul des points d'où partent les rayons vecteurs se trouve à l'intérieur de la courbe qui constitue l'élec-

trode ; on a donc

$$Q = -\frac{l}{4\pi} \times A \times 2\pi,$$

ou

$$Q = -\frac{Al}{2}.$$

On a vu (équation 13) que A a pour valeur

$$A = \frac{V_1 - V_2}{\log \frac{C}{C'}},$$

ou, si l'un des cercles communique avec la terre, e l'autre avec la source dont le potentiel est V,

$$A = \frac{V}{\log \frac{C}{C'}},$$

on a donc :

$$Q = -\frac{lV}{2 \log \frac{C}{C'}};$$

Et par suite la capacité électrostatique, est :

$$S = \frac{Q}{V} = -\frac{l}{2 \log \frac{C}{C'}}$$

$$= \frac{l}{2 \log \frac{C'}{C}}$$

$$= \frac{l}{\log \frac{C'^2}{C^2}}:$$

ou, enfin, en nous reportant aux équations (9),

$$S = \frac{l}{\log \frac{(a - \alpha)\alpha'}{(a - \alpha')\alpha}}$$

$$= \frac{l}{\log \frac{a\alpha' - \alpha\alpha'}{a\alpha - \alpha'\alpha}}$$

$$= \frac{l}{\log \frac{a\alpha' - R_1^2}{a\alpha - R_1^2}}.$$

Si enfin on remplace α et α' par leurs valeurs (équation 12), on trouve, pour la capacité électrostatique de l'espace compris entre les deux cylindres,

$$= \frac{l}{\log \dfrac{a^2 - R_1^2 - R_2^2 - \sqrt{(a+R_1+R_2)(a+R_1-R_2)(a-R_1+R_2)(a-R_1-R_2)}}{a^2 - R_1^2 - R_2^2 - \sqrt{(a+R_1+R_2)(a+R_1-R_2)(a-R_1+R_2)(a-R_1-R_2)}}}.$$

On trouverait naturellement la même valeur pour S, en prenant l'autre circonférence pour point de départ.

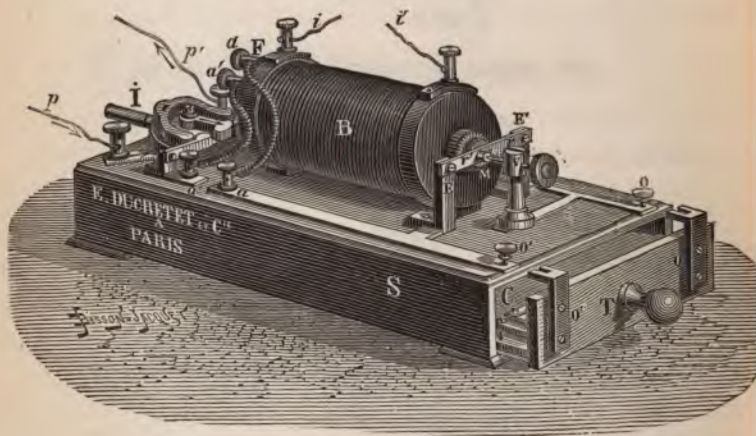
(*A suivre*). E. E. BLAVIER.

INTERRUPTEUR DE NEEF

POUR BOBINES RUHMKORFF

MODIFIÉ PAR E. DUCRETET.

La modification, réalisée par E. Ducretet, consiste *à rendre fixe* le ressort vibrant de l'interrupteur de Neef; pour cela, ce ressort vibrant est allongé (rr'), et ses deux extrémités sont fixées sur deux équerres EE'; une lame de fer doux (de préférence de forme rectangulaire et dissymétrique par rapport au faisceau de la bobine) est fixée



sur le ressort rr', elle sera attirée par le faisceau de fils de fer de la bobine B. Une partie platinée se présente en regard de la tige filetée de la colonne V, elle sert à produire les interruptions du courant dans le circuit induc-

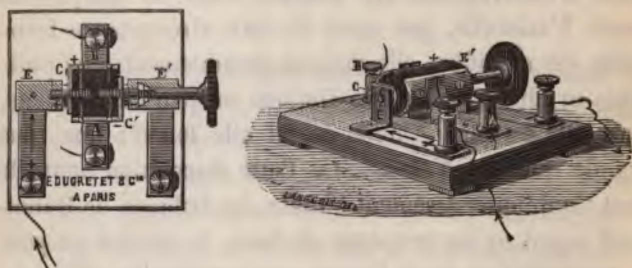
teur de la bobine B. Si l'épaisseur du ressort vibrant est convenable, il n'est pas utile d'employer un ressort antagoniste à réglage variable; l'effet maximum s'obtient aisément par la tige filetée de V.

L'interrupteur de Neef, ainsi disposé, donne des vibrations très rapides et, par conséquent, un nombre considérable d'interruptions du courant dans un temps très court. L'étincelle, par suite de cette circonstance favorable, est modifiée; elle devient sensiblement plus puissante et plus chaude. Elle diminue un peu de longueur, mais elle est plus condensée, et elle fournit une plus grande quantité d'électricité. Cette disposition nouvelle peut s'appliquer aisément à toutes les bobines de Ruhmkorff ayant un interrupteur de Neef. A volonté on peut se servir de l'un ou de l'autre et comparer les effets obtenus.

La bobine Ruhmkorff dont le dessin est ci-contre est disposée spécialement pour la démonstration : le condensateur de Fizeau G est mobile, on peut ainsi en un instant l'ajouter ou le supprimer; pour cela il est fixé sur le socle T disposé en forme de tiroir; les communications s'établissent ou se rompent par les équerres et les boutons de serrage OO'. Cette disposition permet de mettre en évidence l'action considérable du condensateur sur la puissance de l'étincelle de la bobine. Ce faisceau de fils de fer et le fil inducteur sont également mobiles, ils peuvent être enlevés de l'intérieur de la bobine. En I se trouve le commutateur inverseur de M. Bertin. Toutes les communications sont apparentes afin de pouvoir suivre la marche du courant. Ce genre de bobine démontable a été construit par E. Ducretet sur les indications de M. d'Almeïda.

Modifications de l'inverseur Ruhmkorff. — Le commu-

ateur inverseur de Ruhmkorff, tel qu'il a été construit jusqu'à ce jour, est imparfait : il ne permet pas de suivre facilement le sens du courant dans le circuit, il donne des contacts insuffisants. M. E. Ducretet a obvié à ces inconvénients par une modification bien simple qu'il a apporté dans la construction de cet inverseur. La *fig.* 2 ci-contre



montre cette disposition. Au lieu d'entrer et de sortir par les ressorts de contact AB du commutateur, *le courant entre et sort* par les équerres EE' marquées du signe + et —; elles communiquent directement aux vecteurs demi-circulaires du commutateur par les vis du centre et par des bandes métalliques extérieures GG'. L'inversion se fait par les ressorts AB. La direction du courant est aussi rendue visible par les signes + et — gravés sur les équerres EE' et sur les lames secteurs demi-circulaires du commutateur. La direction du courant peut être encore donnée par la position du bouton de l'axe du commutateur. Cette disposition bien simple permet de suivre aisément le sens du courant; les bandes latérales extérieures GG' assurent un bon contact pour le passage du courant.

EXPOSÉ SOMMAIRE

DE LA MESURE ÉLECTRIQUE

EN UNITÉS ABSOLUES

I.

INTRODUCTION.

Les progrès actuels de l'électricité et de ses applications sont un exemple frappant des services mutuels que se rendent la théorie et la pratique. Toute science appliquée est une œuvre collective à laquelle collaborent les industriels qui n'envisagent cependant que la partie utile et commerciale : la théorie pose les principes, la pratique développe les conséquences ; le savant sème, l'industriel féconde et récolte ; mais, par un juste retour, les résultats de la pratique contribuent grandement à l'avancement de la théorie.

« Les applications importantes de l'électro-magnétisme à la télégraphie, écrivait en 1873 M. Maxwell (*), ont réagi sur la science pure en donnant une valeur commerciale aux mesures électriques précises et en procurant aux électriciens l'occasion d'expérimenter sur une échelle bien plus vaste que celle d'un laboratoire

(*) *Electricity and magnetism*, 1873, préface, p. VIII.

ordinaire. Cette demande de connaissances électriques et cette facilité de les acquérir par la pratique ont déjà eu de très sérieuses conséquences; elles ont stimulé l'activité des électriciens instruits et diffusé parmi les hommes pratiques des notions exactes éminemment propres à faire progresser la science de l'ingénieur. »

« Il y a en ce moment, écrivait à la même époque M. Jenkin (*), deux sciences de l'électricité : celle des ouvrages généraux de physique, et celle plus ou moins connue des électriciens. Ces deux sciences parlent un langage différent, et c'est un fait digne de remarque que la science des hommes pratiques est en quelque sorte plus scientifique que celle des traités. »

Le développement des entreprises de télégraphie sous-marine a fait de la mesure des grandeurs électriques une opération usuelle : aussi s'est-on préoccupé de perfectionner, tout en le simplifiant, ce genre d'expérimentation. C'est en Angleterre, c'est-à-dire dans le pays qui a eu l'initiative de telles entreprises, qu'a pris naissance cette science pratique des électriciens. Spéciale d'abord aux électriciens voués à la télégraphie sous-marine, elle s'est imposée bientôt à tous ceux s'occupant de télégraphie, et elle se vulgarise aujourd'hui de plus en plus, grâce au besoin de mesures électriques provoqué par les inventions récentes relatives à l'éclairage et au transport de la force par l'électricité. Les savants ont apprécié à leur tour le parti qu'ils pouvaient tirer, même dans les recherches purement théoriques, de ses appareils, de ses méthodes et de son langage, qui ont ainsi pénétré dans l'enseignement; en sorte que la distinction dont parlait M. Jenkin est en voie de disparaître et que l'uni-

(*) *Electricity and magnetism*, 1873, **introduction**.

fication des mesures électriques sera bientôt un fait accompli.

Il est à peine nécessaire d'insister sur l'importance d'un pareil résultat : en rapportant toutes les observations à un système commun d'unités, on rend les valeurs numériques des quantités physiques indépendantes des instruments particuliers qui ont servi à les mesurer, et on apporte, dans l'échange des idées et des découvertes scientifiques, des facilités du même ordre que celles introduites dans les transactions commerciales par l'adoption d'un système uniforme de mesures et de monnaies.

II.

L'UNITÉ DES MESURES CONSÉQUENCE DE L'UNITÉ DES FORCES.

Les mesures ont un rôle capital dans les sciences d'observation : elles servent à établir les lois et à les vérifier. Toutes ces sciences suivent la même marche progressive : d'abord, on constate simplement les faits, puis on s'occupe de les préciser : on expérimente, on mesure, on compare ; les lois résultent enfin de la coordination des faits évalués numériquement. La constatation des premiers faits remonte souvent aux temps les plus reculés ; mais l'art d'expérimenter et de mesurer appartient à la science moderne. Abandonnant les errements du passé, la science moderne a renoncé à la recherche de l'absolu, c'est-à-dire de la nature et de l'essence des choses dont les notions sont inaccessibles ; elle a renoncé à la pierre philosophale et au mouvement perpé-

tuel; l'alchimie a fait place à la chimie, et la physique a succédé à la métaphysique (*).

La chimie a étudié la matière sans se préoccuper de son essence; elle a observé les propriétés des corps et leurs rapports; elle a pesé les corps, et elle a reconnu que, quelles que soient les transformations physiques ou passagères, chimiques ou permanentes que subit un corps, le poids reste invariable (Lavoisier). La matière se conserve donc, première conséquence de ce principe que *dans la nature, rien ne se crée, rien ne se perd* (**) ; d'où résulte cette définition de la chimie : l'étude de la matière et de ses transformations.

La physique a étudié les forces naturelles, sans se préoccuper de leur cause primordiale : elle a mesuré les effets et déterminé leurs rapports. Des faits isolés passant à l'ensemble, elle a remarqué que des phénomènes, dissemblables en apparence, étaient le plus souvent connexes dans leur développement, et elle a conclu que leur diversité pouvait tenir simplement à la diversité des organes par lesquels se perçoivent les sensations. A la conception d'agents distincts, *proprii generis*, elle a substitué celle de manifestations différentes du grand pouvoir d'activité de la Nature. Dès lors, rien ne pou-

(*) Le secret des découvertes de la science moderne, c'est tout simplement qu'elle n'a cherché que ce qui était accessible à nos moyens d'expérimentation, et si *depuis peu d'années* la science a tant trouvé, c'est que *depuis peu d'années* la science n'a cherché que ce qu'il était possible de trouver. » (Babinet, *Etudes et lectures sur les sciences d'observation et leurs applications pratiques.*)

(**) . . . . gigni
De nihilo nihil, in nihilum nil posse reverti.
(*Perse*, sat. III, vers 83, 84).

C'est l'axiome fondamental de la philosophie d'Épicure, développé par Lucrèce (*De rerum nat.*, liv. I, vers 150, 206) et dont Lavoisier a fait un principe fondamental.

vant se créer ni s'anéantir, ce qui disparaît sous une forme doit pouvoir se retrouver sous une autre forme; en d'autres termes, ce qui échappe à un de nos sens doit devenir perceptible à un autre, l'effet mécanique comme chaleur, électricité ou lumière et réciproquement : il n'y a plus qu'à déterminer les équivalences. Pour exprimer ces équivalences, à la notion de *force vive* qui est spéciale aux masses en mouvement, à la notion du *travail* qui suppose le fait accompli, on ajoute la notion d'*énergie*, qui est la capacité d'effectuer du travail et qui s'applique indistinctement à toutes les forces naturelles, même à l'état de repos. Le principe de la conservation de la matière se trouve ainsi complété par celui de la conservation de l'énergie, et la physique devient l'étude de la force et de ses transformations.

Cette nouvelle manière d'envisager les phénomènes a eu des conséquences nombreuses et importantes : elle a donné naissance à la *thermo-dynamique* ou théorie mécanique de la chaleur et à la *thermo-chimie*, qui est le trait d'union entre la chimie et la mécanique générale.

L'application de la thermo-chimie aux phénomènes électro-chimiques a donné leur signification mécanique. La force électromotrice d'une pile représente l'équivalent mécanique de l'action chimique ou de la chaleur qui correspond à la dissolution d'un équivalent chimique (*) de zinc : d'où le moyen de la déterminer par des mesures calorimétriques. Les phénomènes de l'électrolyse, la polarisation des électrodes dans les piles, l'induction dans les moteurs électriques deviennent de simples corollaires de la conservation de l'énergie.

(*) L'équivalent électro-chimique d'une substance est le poids de cette substance qui est dissous dans la pile, ou mis en liberté dans un voltamètre, pendant le passage de l'unité d'électricité. Il est proportionne à l'équivalent chimique.

Les machines de toute espèce ne sont plus que des engins de distribution et de répartition de l'énergie : elles restituent, sous forme de travail mécanique ou de chaleur, l'énergie qui leur a été communiquée sous l'une ou l'autre de ces formes par les forces naturelles (chute d'eau, puissance musculaire, air en mouvement, actions chimiques, etc.). Dans cette transformation, l'électricité, quand elle se développe, n'est qu'un intermédiaire et n'a d'autre rôle que d'emmagasiner l'énergie, puisqu'elle la restitue toujours sous forme mécanique ou calorifique, l'énergie chimique n'étant d'ailleurs qu'une forme de l'énergie calorifique. On emmagasine de l'énergie en développant de l'électricité, de même qu'on emmagasine de l'énergie en élevant un poids ou en comprimant un gaz. Cette énergie est restituée pendant la décharge ou le passage du courant, comme elle restituée par la chute du poids ou l'expansion du gaz. Mais, à l'état électrique, l'énergie peut se transporter à distance, et de là l'importance de cet intermédiaire pour l'utilisation des forces naturelles qui, sur place, resteraient sans emploi : sans doute l'échauffement du fil conducteur, les résistances passives et les réactions des engins de transformation absorbent une partie de l'énergie initiale, mais l'excédent devient disponible.

Enfin, l'énergie, sous quelque forme qu'elle se présente, étant toujours l'équivalent d'un travail mécanique, il en résulte que le travail est un terme de comparaison universel pour tous les phénomènes naturels, et en conséquence tous ces phénomènes pourront être mesurés en fonction des unités de la mécanique. C'est le fondement du *système absolu d'unités électriques* proposé par l'Association britannique pour l'avancement des sciences, et adopté aujourd'hui par la plupart des électriciens.

III.

UNITÉS ÉLECTRIQUES DANS LE SYSTÈME ABSOLU.

On mesure une grandeur en la comparant à une grandeur de même espèce prise pour unité. L'étalon est la représentation matérielle de l'unité; il doit être construit et conservé dans des conditions qui assurent son invariabilité. Cela fait, on laisse de côté les considérations qui ont fixé le choix de l'unité, que l'on définit alors par sa représentation matérielle. Le mètre n'est plus la dix millionième partie du quart du méridien terrestre : ce qui était vrai d'après les calculs de Delambre ne l'est plus depuis que le méridien a été mesuré avec plus de précision. Le mètre, c'est la longueur que possède. à la température de la glace fondante, une certaine règle soigneusement conservée et dont on fait des copies.

Comme on ne peut comparer que des grandeurs de même nature, chaque espèce distincte de grandeur doit avoir son unité propre; mais s'il existe des relations mathématiques entre les grandeurs considérées, la mesure de certaines d'entre elles pourra s'exprimer à l'aide d'unités définies par leurs relations avec d'autres unités acceptées comme *fondamentales*. Ces unités sont dites *dérivées*.

Un système composé d'unités fondamentales et d'unités dérivées est dit *absolu*.

Ainsi la longueur, la surface et le volume sont des grandeurs distinctes; mais comme la mesure de la surface et celle du volume peuvent se déduire de la mesure de la longueur, on simplifie le calcul des aires et des capacités en prenant pour unités le carré et le cube dont les côtés ont l'unité de longueur. Le mètre est une unité fondamentale; le mètre carré et le mètre cube sont des

unités dérivés. On réduit ainsi le nombre d'étalons fondamentaux types auxquels il faudra toujours comparer les étalons dérivés, tels que les étalons de capacité, construits pour les besoins de la pratique.

Toutes les quantités mécaniques peuvent être mesurées à l'aide de trois unités fondamentales, dont deux sont introduites par l'étude du mouvement : ce sont les unités de *longueur* et de *temps;* elles ont pour étalons le mètre et la seconde du temps solaire moyen. La troisième résulte de l'étude des forces : l'unité habituelle de force est le *gramme*, c'est-à-dire, théoriquement, le poids à Paris d'un centimètre cube d'eau distillée à son maximum de densité; pratiquement, la millième partie du kilogramme-étalon conservé à Paris. La masse étant le quotient du poids par l'accélération de la pesanteur, l'unité de masse est alors une unité dérivée. Mais, dans ce système, l'unité de force et l'unité de masse dépendent toutes deux de la pesanteur et, par suite, les mesures dans lesquelles entrent ces unités ne sont complètes que si l'on connaît l'intensité de la pesanteur au lieu de l'observation. Aussi, quand Gauss voulut établir un système uniforme d'observations magnétiques dans des régions où l'action de la pesanteur n'était pas la même, il prit la masse comme unité fondamentale, et rendit par là les valeurs numériques de l'intensité magnétique indépendantes de la pesanteur. L'unité fondamentale de masse, dans le système absolu, est la masse qui pèse un gramme à Paris. La comparaison des masses se fait par la pesée, ce qui est très commode dans les applications de la dynamique où entrent des moments d'inertie.

L'unité de force devient une unité dérivée : c'est la force qui, agissant sur l'unité de masse, lui imprime

l'unité d'accélération. En adoptant, comme unités fondamentales, le mètre pour la longueur et le gramme pour la masse, la densité de l'eau serait représentée par un million et la densité d'une substance quelconque serait un million de fois son poids spécifique. En prenant le centimètre au lieu du mètre, la densité de l'eau devient égale à un, et les densités sont égales aux poids spécifiques. De là le système centimètre-gramme-seconde, ou par abréviation système C G S. Dans ce système, l'unité dérivée de force s'appelle la *dyne;* celle de travail, le *erg.*

Passons aux grandeurs électriques. Celles dont on a surtout à s'occuper sont au nombre de cinq : la *quantité* Q, la *force électromotrice* ou *différence de potentiel* E, la *capacité* C, l'*intensité* I et la *résistance* R. Les unités correspondantes pourront être dérivées des trois unités fondamentales de la mécanique et s'obtiendront par simple définition, s'il existe entre les grandeurs électriques et les grandeurs mécaniques cinq relations distinctes. Or, entre les grandeurs électriques, nous avons trois relations simples qui font dépendre trois d'entre elles des deux autres : elles résultent de la loi de Ohm $\left(I = \frac{E}{R}\right)$, de la définition de l'intensité ($Q = It$) et de celle de la capacité ($Q = CE$). En prenant, pour étalons de force électromotrice et de résistance, la force électromotrice d'un élément Daniell et la résistance à zéro d'une colonne de mercure d'un mètre de long et un millimètre carré de section (unité mercurielle de Pouillet et Siemens), on pourra exprimer les autres unités en fonctions de celles-ci.

Si à ces relations on ajoute la loi de Joule (*), expri-

(*) La force électromotrice entre deux points d'un circuit étant E, le

mant le travail W d'un courant constant ($W = I^2Rt$), on pourra définir toutes les unités électriques en fonction de l'une d'entre elles et de l'unité de travail.

Comme cinquième relation, nous avons, soit la loi fondamentale de l'électro-statique (formule de Coulomb), exprimant la force qui s'exerce entre deux quantités d'électricité; soit l'une des conséquences de la loi fondamentale de l'électro-dynamique (formule d'Ampère), exprimant la force qui s'exerce entre deux courants; soit l'une des conséquences de la loi fondamentale de l'électro-magnétisme (formule de Laplace), exprimant la force qui s'exerce entre un courant et un aimant. De là trois systèmes absolus d'unités électriques, mais qui se réduisent en définitive à deux systèmes distincts; car, en multipliant par 2 la formule d'Ampère, telle qu'on l'écrit habituellement en France, et remplaçant les courants par leurs aimants équivalents, le système électro-dynamique devient identique au système électro-magnétique.

Le système électro-statique est commode pour la mesure des phénomènes d'électricité au repos; mais le système électro-magnétique est préférable pour la mesure des phénomènes d'électricité en mouvement, qui se déduit en général d'observations faites avec des aimants. Par exemple, un galvanomètre ordinaire des tangentes donne facilement la valeur de l'intensité d'un courant en unités absolues électro-magnétiques en fonction de la déviation, de la longueur du fil, du rayon du cadre et de la composante horizontale du magnétisme terrestre. Les unités

travail produit par le transport d'une quantité Q d'un point à l'autre est $W = QE = EIt = I^2Rt$. Quand on décharge un condensateur contenant une quantité Q, la différence de potentiel E va en diminuant de E à zéro pendant la décharge : le travail de la décharge ou l'énergie du condensateur est alors seulement $\frac{1}{2}QE$.

électro-magnétiques dépendent évidemment des unités magnétiques, et les considérations qui ont conduit Gauss à préférer, comme unité fondamentale dans un système absolu de mesures magnétiques, la masse de l'unité habituelle de poids au poids lui-même s'imposent aussi dans la mesure absolue des grandeurs électriques.

Les unités absolues électro-magnétiques de résistance et de force électromotrice, dans le système C G S, sont extrêmement petites; pour avoir des unités plus appropriées aux usages pratiques, on a multiplié les premières par des puissances de dix, choisies de façon à avoir une unité de résistance voisine de l'unité mercurielle et une unité de force électromotrice voisine de l'élément Daniell. L'unité pratique de résistance a reçu le nom de *ohm* ou unité B A (British Association); l'unité pratique de force électromotrice a reçu celui de *volt*. Les autres unités pratiques se déduisent du ohm et du volt par les relations $I = \frac{E}{R}$, $Q = It$ et $Q = CE$. Ce sont : le *weber* pour la quantité, le *weber par seconde* pour l'intensité, le *farad* pour la capacité.

Les noms de ces unités précédés des préfixes *mega* ou *micro* désignent des unités un million de fois plus grandes ou plus petites. Ainsi les grandes résistances s'expriment en *megohms*, et les capacités qu'on mesure le plus souvent s'expriment en *microfarads*. L'intensité de courant qui fait fonctionner les récepteurs télégraphiques Morse est d'environ 15 millièmes de l'unité pratique d'intensité : ces millièmes s'appellent des *milliwebers*.

IV.

MESURE ABSOLUE DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES.

Parmi les grandeurs électriques, les unes peuvent toujours être mesurées en unités absolues *directement* et *d'une façon indépendante* : ce sont la force électromotrice en mesure statique (*), l'intensité et la quantité en mesure magnétique et en mesure dynamique. Les autres ne peuvent être mesurées qu'*indirectement*, soit par leurs *relations* avec les grandeurs qui précèdent, soit par *comparaison* avec des grandeurs de même espèce qu'elles et dont on connaît la valeur numérique en unités absolues.

La détermination directe par l'expérience de la valeur absolue des grandeurs de la première catégorie est toujours une opération délicate. Elle exige l'emploi d'*instruments absolus*, c'est-à-dire construits de manière à renfermer tout ce qui est nécessaire pour effectuer la détermination d'une façon indépendante. Ces instruments sont coûteux, peu portatifs et difficiles à manier (**). On ne s'en sert que pour *étalonner* des instruments plus simples, *enregistrant* seulement le phénomène sur une *graduation arbitraire*, et que l'on peut alors utiliser sans qu'il soit nécessaire de connaître exactement la relation qui lie leurs indications à la quantité à mesurer. Il suffit pour cela de dresser une table à deux colonnes, où l'on inscrit en regard les lectures fournies par l'instrument simplifié et par l'instrument absolu dans l'observation du même

(*) La quantité électrique ne s'obtient directement en mesure statique que si le corps chargé est assez petit pour remplacer la boule fixe dans la balance de Coulomb.

(**) Ce sont les électromètres, galvanomètres et électro-dynamomètres absolus.

phénomène : c'est ce qu'on appelle prendre les *constantes* de l'instrument arbitraire. Quand on a cette table pour toutes les divisions de son échelle, un simple enregistreur remplace pour les usages pratiques un appareil absolu. Enfin, si l'on dispose d'un enregistreur tel que les lectures de l'échelle soient proportionnelles aux quantités à mesurer ou à une fonction connue de ces quantités, une comparaison faite une fois pour toutes avec un instrument absolu donnera la *constante*, c'est-à-dire le coefficient unique par lequel il faut multiplier les lectures de l'échelle arbitraire pour avoir en unités absolues la mesure de la grandeur inconnue.

Une grandeur appartenant à la seconde catégorie se déduira de ses relations avec une de celles de la première par l'observation d'un phénomène dans lequel elles interviennent toutes deux. Ainsi par une mesure de l'intensité d'un courant et par celle du travail qu'il développe dans le circuit, la formule de Joule ($W = I^2Rt = IEt$) donnera la résistance et la force électromotrice ; connaissant Q et E, on aura la capacité par $Q = CE$. Cette méthode détournée peut donner d'excellents résultats dans le laboratoire, mais elle ne saurait convenir à des mesures usuelles. Aussi pour les grandeurs qui, comme la résistance et la capacité, ne sont pas susceptibles de mesure directe par les instruments étalonnés, on s'est préoccupé d'établir un *étalon matériel*, afin de ramener leur mesure à une simple comparaison entre grandeurs de même espèce.

La détermination de ces étalons doit être faite avec un soin extrême ; car s'ils s'écartaient trop de la valeur de l'unité, ils constitueraient par le fait une unité arbitraire, et l'on perdrait les avantages du système absolu.

La résistance est évidemment la grandeur électrique

qui se prête le mieux à une représentation matérielle, remplissant les conditions de permanence que doit avoir un étalon, et à la formation de multiples et de sous-multiples de l'unité. Le Comité de l'Association britannique a mesuré avec la plus grande précision (*) la valeur en unités absolues électro-magnétiques de certaines bobines en fil de maillechort (argent allemand), alliage qui présente des qualités remarquables de permanence. Cela fait, les méthodes ordinaires de comparaison ont permis de construire des étalons-types de l'unité BA. Le *ohm* doit alors être défini comme la résistance, à une température donnée, d'une certaine bobine-étalon conservée à Kew et dont des copies sont livrées au commerce. En prenant des multiples ou des sous-multiples de la longueur du fil qui forme l'étalon, on aura des multiples ou des sous-multiples de l'unité; mais il est plus sûr d'opérer par comparaison électrique avec l'étalon-unité.

Au moyen de résistances connues et d'un instrument étalonné pour la mesure de l'intensité, on peut obtenir la capacité en mesure absolue magnétique (**) : c'est

(*) Pour que la détermination de l'unité de résistance pût être refaite au besoin dans des conditions identiques, on a voulu, comme pour le *mètre*, lui donner une base toujours existante, et, la mesure absolue de l'intensité reposant déjà sur la mesure du magnétisme terrestre, on a choisi comme force électromotrice du courant employé dans l'expérience, non pas la force due à une action chimique qui n'aurait pas présenté une constance suffisante, mais la force d'induction engendrée par le mouvement uniforme d'un conducteur dans le champ magnétique de la terre. La résistance que l'on mesure est alors celle d'un certain nombre de tours de fil de maillechort enroulé sur un anneau tournant autour d'un diamètre vertical, et cette résistance s'exprime en unités absolues en fonction de la longueur du fil, de la vitesse angulaire et du rayon de l'anneau, et de la déviation que prend un petit aimant suspendu à son centre.

(**) La capacité d'un condensateur en mesure statique s'obtient par comparaison avec un condensateur *absolu*, c'est-à-dire un condensateur de forme géométrique, dont la capacité peut être calculée d'après ses dimensions.

ainsi en effet que l'on détermine la capacité d'un certain condensateur en unités absolues, et que l'on obtient ensuite par comparaison un condensateur d'une capacité égale à l'unité. Les condensateurs-étalons ont une capacité de un microfarad. En construisant des condensateurs identiques, mais de surface deux, trois fois plus grande, ou en ajoutant en surface un certain nombre de condensateurs égaux à l'unité, on forme des multiples de celle-ci; mais il sera prudent de vérifier par comparaison électrique ces étalons secondaires.

La force électromotrice s'obtient facilement en mesure magnétique connaissant l'intensité et la résistance : en mesure statique, elle a son instrument absolu. Néanmoins, il est commode d'avoir un étalon de cette grandeur. On emploie généralement à cet effet l'élément Daniell, qui diffère peu du volt, et l'on détermine avec précision sa valeur exacte avec des liquides de composition donnée. Il a été reconnu cependant que cet élément varie souvent de 5 pour 100 et plus sans cause apparente, et M. Clark a proposé comme étalon un élément zinc-mercure, dont la force se maintient sensiblement constante dans un circuit ouvert, ou fermé très peu de temps. En accouplant des éléments en série, on formera des multiples, dont il sera bon toujours de vérifier l'exactitude par comparaison électrique avec l'étalon-unité. Enfin, avec une pile donnée et une série de résistances égales, on réalise une échelle décroissante de potentiels.

Une fois en possession de ces étalons matériels, il est clair qu'on a un étalon d'intensité par l'intensité du courant produit par l'élément étalon dans un circuit de l'unité de résistance, et un étalon de quantité par la charge que l'élément étalon communique au condensateur étalon.

Toutes les grandeurs électriques ayant ainsi leur éta-

lon, leur mesure absolue pour toutes se réduit dans la pratique à une comparaison de grandeurs de même espèce (*).

Pour comparer des grandeurs de même espèce, on a trois manières de procéder :

1° On *oppose* la grandeur inconnue à une grandeur connue de façon que leurs effets se contrarient, on constate la *différence*, et l'on voit quelle est la plus grande des deux. On prend alors une grandeur connue plus petite ou plus grande que la première, et l'on arrive par tâtonnements à *réduire à zéro* ou à *compenser* l'effet de la grandeur inconnue, à obtenir l'*équilibre* ou la *balance* des effets : de l'égalité des effets on conclut à l'égalité des grandeurs.

D'où les noms de méthodes d'*opposition*, *différentielles*, de *réduction à zéro*, de *compensation*, d'*équilibre*, de *balance*. Le type, c'est la pesée ordinaire. Comme il s'agit seulement de constater la destruction de l'effet que produit individuellement chacune des grandeurs, l'instrument d'observation est simple, et l'on se préoccupe surtout de lui donner une grande sensibilité ; mais on a besoin d'un étalon susceptible d'une variation continue ou d'une série d'étalons gradués. Si l'on a les moyens de réduire ou d'amplifier un des effets dans une proportion connue, il ne sera pas nécessaire que la valeur numérique de l'étalon variable, dont on dispose, reproduise celle de

(*) Pour passer d'un système d'unités à un autre, il est indispensable de connaître dans chaque système les dimensions des unités, c'est-à-dire la puissance à laquelle chaque unité fondamentale entre dans les unités dérivées. Or les dimensions des unités de résistance et de capacité ne renferment pas la masse; il en résulte que si l'on prenait le poids, au lieu de la masse, comme unité fondamentale, à la seule condition de conserver les mêmes unités de longueur et de temps, les étalons matériels de résistance et de capacité conserveraient leurs valeurs absolues : fait à noter, car il s'agit précisément des seules grandeurs qui ne puissent être mesurées d'une façon indépendante par des instruments absolus.

la grandeur à mesurer. Il suffira, dans ce cas, de constater l'égalité de l'effet réduit ou amplifié avec l'autre effet intégral, et l'on en conclura le rapport des grandeurs. Ainsi avec une balance, dont l'un des bras a une longueur double de l'autre, un poids peut être équilibré par un poids moitié moindre. C'est le principe appliqué dans les mesures électriques quand on se sert d'un *galvanomètre différentiel* à circuits inégaux ou quand on met une dérivation sur un des circuits égaux, et aussi quand on emploie des branches de proportion inégales dans le *pont* ou *balance de Wheatstone.*

2° Une grandeur inconnue produit un certain effet; on lui substitue une grandeur connue capable de produire le même effet. On conclut à l'égalité par l'axiome : deux quantités égales à une troisième sont égales entre elles. Le type, c'est la double pesée. Les instruments d'observation doivent toujours donner la même indication pour la même valeur de la quantité à mesurer et avoir une échelle divisée pour enregistrer cette indication. Mais il n'est pas nécessaire de connaître la relation entre la lecture et la valeur correspondante de la quantité. Les divisions de l'échelle pourront donc être arbitraires. La méthode exigera, comme la précédente, un étalon variable ou des étalons gradués. On pourra aussi réduire l'un des effets ou les deux effets dans une proportion connue; on y sera quelquefois obligé pour ramener les indications de l'instrument dans les limites de l'échelle : c'est l'objet des dérivations dans les mesures électriques.

3° On mesure séparément l'effet de la grandeur inconnue et celui d'une grandeur *fixe* connue : du rapport des effets on déduit celui des grandeurs. On n'a besoin que d'un étalon fixe, mais l'instrument d'observation doit être tel que les lectures de l'échelle soient proportion-

nelles aux quantités à mesurer, et alors le rapport des lectures fait connaître celui des quantités; ou bien, que les quantités à mesurer soient proportionnelles à une fonction connue des indications de l'instrument (comme, par exemple, le sinus ou la tangente), et alors le rapport des quantités est égal à celui des valeurs des fonctions. Si l'on a un instrument à indications proportionnelles dont la constante a été déterminée, une seule observation faite avec la quantité inconnue donnera sa mesure absolue. Le type, c'est la pesée par les balances romaines, les pesons et les bascules. Comme dans les méthodes précédentes, si les indications de l'instrument venaient à sortir des limites de l'échelle, on réduirait au préalable la quantité correspondante dans une proportion connue, de manière à rendre l'observation possible.

En résumé, trois catégories de méthodes :

1° Méthodes dites de *réduction à zéro*, dans lesquelles la chose à observer est la non-existence d'un phénomène. L'instrument n'a pas besoin d'échelle, mais il faut un étalon variable ou des étalons gradués;

2° Méthodes dites de *substitution*, dans lesquelles le phénomène est simplement enregistré. L'instrument a une échelle arbitraire, mais il faut encore un étalon variable ou des étalons gradués;

3° Méthodes plus spécialement dites de *comparaison*, dans lesquelles le phénomène observé est évalué numériquement; il faut un instrument de *mesure*, mais un étalon fixe suffit et l'on peut s'en passer, si l'on connaît la constante de l'instrument.

Pour mesurer les phénomènes électriques, il faut donc : 1° des instruments d'observation; 2° des étalons fixes ou gradués de résistance et de capacité; 3° certains appareils accessoires pour la commodité des expériences.

V.

APPAREILS DE MESURE ÉLECTRIQUE.

Instruments d'observation.

Les instruments d'observation des phénomènes *électrostatiques* sont les *électroscopes* et les *électromètres*. Les électromètres permettent d'évaluer numériquement les charges électriques ou les différences de potentiel; les électroscopes constatent simplement leur existence; mais avec un électroscope sensible, on obtiendra des mesures indirectes par l'emploi des méthodes de réduction à zéro. Une lame d'or délicatement suspendue entre deux corps possédant des charges électriques contraires (*électroscope de Bohnenberger*) constitue un instrument capable de décéler les moindres traces d'électricité : la lame s'incline du côté du corps qui possède une électrisation contraire à la sienne, et la répulsion de l'autre corps s'ajoute à l'attraction de celui-ci (*). Ce petit appareil permet d'établir rigoureusement les lois fondamentales de l'électricité : développement simultané et en quantités équivalentes des deux espèces d'électrisation, quel que soit le mode de production, frottement, induction, actions chimiques; absence absolue d'électrisation à l'intérieur d'un conducteur creux, d'où l'on peut conclure mathématiquement que les forces électriques suivent la loi de l'inverse carré des distances. L'égalité de deux charges contraires se reconnaît en constatant qu'il n'y a plus

(*) Le principe de l'électroscope de Bohnenberger (feuille d'or entre les deux pôles d'une pile sèche) a été appliqué par M. Thomson à son électromètre à quadrants et au *syphon-recorder*, employé comme récepteur de télégraphie sous-marine; il est aussi utilisé dans quelques électro-dynamomètres.

d'électrisation quand on les réunit : d'où l'application de l'électroscope à la mesure des capacités (*).

La *balance de torsion*, dont Coulomb s'est si bien servi pour poser les fondements de la science électrique, est un instrument absolu ; car la torsion qui fait équilibre à l'action électrique peut se mesurer en unités absolues. Dans cet instrument, comme d'ailleurs dans tous les appareils électrométriques, il importe d'être garanti contre l'induction des corps extérieurs et surtout contre l'électrisation irrégulière des parois de la cage de verre. Faraday a donné le moyen pratique d'y arriver par l'emploi d'un *écran électrique*, c'est-à-dire d'une cage de métal, ou en fil ou feuille de métal, qu'on interpose entre la cage de verre et les parties essentielles de l'instrument et qu'on met en communication avec la terre, ou, dans certaines expériences, avec une source à potentiel constant. La balance de torsion mesure directement la charge de la boule fixe ; mais si l'on met celle-ci en communication, par un fil métallique long et fin, avec un corps électrisé situé à distance, l'instrument donne les mêmes indications, quel que soit le point du corps touché avec le fil, et mesure alors la différence de potentiel entre ce corps et la cage de l'appareil.

(*) Avec un simple électroscope à balles de sureau, Cavendish (1771-1781) a vérifié de cette façon que les phénomènes électriques obéissent à la grande loi de la nature, précédant ainsi les mesures directes de Coulomb (1787). Avec le même instrument, il a construit des condensateurs à feuilles d'étain étalonnés par comparaison avec une sphère suspendue au milieu de son laboratoire et a découvert ainsi le phénomène que Faraday a retrouvé en 1837 et qu'il a appelé la *capacité inductive spécifique*. Les recherches de Cavendish ont été publiées seulement en 1879, par les soins de Clerk Maxwell. Rappelons encore les expériences remarquables par lesquelles, avec l'électroscope à décharges, Gaugain a vérifié sur des conducteurs médiocres les lois de Ohm dans l'état permanent et l'état variable, et établi que les phénomènes de conduction et ceux d'induction sont régis par les mêmes lois mathématiques.

L'*électromètre de Peltier* est un instrument à graduation arbitraire, dans lequel la force électrique est équilibrée par l'action de la terre sur une aiguille aimantée solidaire du conducteur mobile.

Sir William Thomson a construit une série d'électromètres dont l'ensemble permet de mesurer des différences de potentiel depuis $\frac{1}{100}$ d'élément Daniell jusqu'à 80 ou 100.000 de ces éléments, c'est-à-dire jusqu'aux potentiels les plus élevés des machines de frottement. Le plus sensible de tous, l'*électromètre à réflexion* ou *électromètre à quadrants*, dérive de l'électroscope de Bohnenberger. Une aiguille d'aluminium, en forme de deux secteurs de cercle opposés par le sommet, est suspendue au centre d'une boîte en métal ronde et plate, coupée en quatre quarts ou *quadrants* ne se touchant point, mais reliés électriquement deux à deux et en croix. On fait communiquer chacune de ces deux paires de quadrants avec l'un des corps dont on veut mesurer la différence de potentiel; à l'aide d'un petit multiplicateur d'induction statique ou *rechargeur*, on donne à l'aiguille une charge d'un potentiel très élevé : une *jauge électrométrique* contrôle la constance de cette charge. Pour éviter que des pertes accidentelles ne diminuent beaucoup le potentiel de l'aiguille, celle-ci est reliée à une bouteille de Leyde à grande surface, dont la cage de verre de l'instrument est le diélectrique, et qui constitue un grand réservoir d'électricité dont le niveau ne baisse pas sensiblement s'il n'y a que de petites fuites, et peut d'ailleurs toujours être rétabli par le rechargeur. Pour de *petites déviations*, la force qui s'exerce entre l'aiguille et les deux paires de quadrants est proportionnelle au potentiel de l'aiguille et à la différence de potentiel des corps reliés aux quadrants. Cette force est équilibrée par la torsion de la suspension

(à fil simple ou bifilaire), qui, dans ces conditions, est proportionnelle à l'angle de déviation. Les indications sont enfin amplifiées par la méthode de réflexion (miroir, lampe et échelle) : l'effet est le même que si l'aiguille était prolongée par un style sans poids dont l'extrémité parcourrait les divisions d'un cercle de rayon double de la distance du miroir à l'échelle.

On a essayé de simplifier cet instrument en remplaçant la boîte des quadrants par un plateau, en supprimant le rechargeur et la jauge; mais alors la proportionnalité des différences de potentiel aux déviations n'est plus vraie que dans des limites très étroites.

L'électromètre à quadrants n'est *symétrique*, c'est-à-dire ne donne des déviations égales et contraires pour des différences de potentiels égales et de signes contraires, qu'autant que les potentiels dont on mesure la différence sont eux-mêmes égaux et de signes contraires. Cette condition est remplie quand on mesure la force électromotrice d'une pile. Mais si l'une des paires de quadrants est reliée à la terre, l'autre étant toujours en communication avec le corps électrisé, les déviations pour des valeurs égales du potentiel sont plus grandes quand il est négatif que quand il est positif, en supposant l'aiguille électrisée positivement : ce qui est un inconvénient dans les appareils à enregistrement photographique, tels que ceux employés dans l'étude de l'électricité atmosphérique. M. *Mascart* a rendu l'appareil toujours symétrique dans ses indications en mettant l'aiguille en communication avec le corps dont on cherche le potentiel, et les quadrants avec les parties opposées d'une pile fournissant l'électrisation auxiliaire.

L'*électromètre absolu* de M. Thomson et ses autres électromètres (*portatif, à longue échelle*) dérivent de

l'*électromètre à disques de Harris :* dans ce dernier, l'action électrique entre deux disques parallèles et très voisins, dont l'un suspendu au plateau d'une balance et l'autre placé au-dessous, était équilibrée par des poids dans l'autre plateau. Dans les instruments de M. Thomson, l'action électrique est équilibrée par la force *constante* d'un poids ou d'un ressort, et le potentiel se déduit de cette force et de la distance, mesurée par une vis micrométrique, qui sépare les disques quand l'équilibre est atteint. Il faut signaler, dans l'électromètre absolu, l'*anneau de garde* qui entoure de très près le disque mobile, lequel devient ainsi la partie centrale d'un grand disque composé du disque mobile et de l'anneau : avec cette disposition, les irrégularités que les bords amènent dans la distribution électrique se produisent sur l'anneau fixe et non sur la partie mobile, et l'on rentre dans les conditions de la théorie.

Erman (1809) et plus tard Draper (1845) ont reconnu qu'une colonne étroite de mercure, dont le ménisque terminal est en contact avec de l'eau acidulée, se déplace brusquement sous l'influence d'un courant électrique assez faible pour ne pas décomposer l'eau. Sur le même principe (*), M. *Lippmann* (1873) a construit un *électromètre capillaire* qui ne donne des déviations proportionnelles que sur une échelle très courte, mais qui, en raison de son extrême sensibilité, convient très bien aux méthodes de réduction à zéro.

L'étude des phénomènes de *courant* fournit plusieurs catégories d'instruments de mesure correspondantes aux

(*) Wheatstone (1875) a imaginé un *relais à mercure,* destiné aux transmissions télégraphiques par les câbles sous-marins, reposant sur la découverte d'Erman.

divisions de cette étude. L'observation des phénomènes *mécaniques* a donné naissance aux *galvanomètres*, fondés sur l'action des courants sur les aimants, et aux *électro-dynamomètres*, fondés sur l'action des courants sur les courants.

On peut faire entre les *galvanoscopes* et les *galvanomètres proprement dits* la même distinction qu'entre les électroscopes et les électromètres. Les galvanoscopes ordinaires consistent en un cadre ou bobine renfermant un certain nombre de tours de fil métallique isolé par de la soie et entourant une aiguille de *déclinaison* ou d'*inclinaison*, qui oscille sur un pivot central. On augmente la sensibilité par l'emploi d'une suspension en fil de cocon et d'un couple d'*aiguilles astatiques* (*) : tantôt l'une des aiguilles est intérieure au cadre et l'autre extérieure, tantôt chaque aiguille a son cadre spécial, et les fils des deux cadres sont reliés de façon que leurs actions s'ajoutent. Dans le premier cas, l'aiguille extérieure peut servir elle-même d'aiguille *indicatrice*, en la prolongeant, s'il est nécessaire, par un style léger parcourant les divisions d'un cadran; dans le second cas, le système est muni d'une indicatrice spéciale montée sur l'axe commun des aiguilles aimantées. Pour éviter d'avoir à orienter l'instrument, on crée, à l'aide d'un *aimant directeur*, un méridien artificiel qui ramène l'aiguille au zéro quand le courant cesse de passer. Si les pôles de l'aimant directeur sont disposés comme ceux de la terre, cet aimant ajoute son action à celle de la terre ; s'ils sont disposés inversement, les deux actions se retranchent,

(*) Un couple d'aiguilles *astatiques* se compose de deux aiguilles solidaires, ayant à peu près la même aimantation, et disposées parallèlement avec les pôles contraires en regard; l'action directrice de la terre sur un pareil système est la différence des actions qu'elle exerce sur chacune des aiguilles.

et en plaçant l'aimant à une distance convenable, on peut les faire se compenser et rendre l'appareil tout à fait astatique.

Le *galvanomètre différentiel* (*Becquerel*) sert à constater l'égalité de deux courants : par l'enroulement simultané sur le cadre de deux fils identiques, on a deux circuits égaux que l'on fait parcourir en sens contraires par les courants que l'on compare. En donnant aux deux circuits des nombres de tours différents, on établit entre leurs actions un certain rapport que l'on détermine expérimentalement, et l'instrument fait connaître si les deux courants comparés sont entre eux dans ce rapport, qui est la *constante* de l'instrument. Quelquefois le second circuit est constitué par une bobine *extérieure* au cadre et placée à une distance variable de l'aiguille. On peut comparer alors des courants très différents, en envoyant le plus fort dans la bobine extérieure. Celle-ci est mobile sur une règle divisée, et l'on détermine la constante pour un certain nombre de positions de la bobine (*méthode différentielle de Siemens*).

Les *galvanomètres* ou *boussoles des sinus ou des tangentes* (*Pouillet*) permettent de comparer les courants par les sinus ou les tangentes de leurs indications. Dans la *boussole des sinus*, le cadre est mobile autour d'un axe vertical : quand le courant fait dévier l'aiguille, on tourne le cadre en la suivant jusqu'à ce qu'elle s'arrête dans son plan, et on lit l'angle dont le cadre a tourné. La proportionnalité aux sinus est rigoureuse, et il n'est pas nécessaire que le cadre soit circulaire ; mais l'instrument ne peut mesurer tous les courants, car la valeur de 90 degrés, qui est la plus grande que puisse atteindre l'angle, correspond à une certaine intensité finie.

Dans la *boussole des tangentes*, le cadre est fixe et on

lit la déviation de l'aiguille : elle peut servir à la mesure des courants de toute intensité, puisque la déviation de 90 degrés correspond à une tangente infinie ; mais, au delà de 45 degrés, l'instrument est peu sensible, car il faut une grande différence entre les tangentes pour avoir une différence appréciable entre les angles. La théorie de cette boussole suppose que les pôles de l'aiguille restent toujours à la même distance des diverses parties du courant : pour se rapprocher de cette condition, il faut que l'aimant soit très petit et que le cadre soit circulaire et de grand diamètre. On prolonge d'ailleurs l'aimant par un style indicateur dont l'extrémité parcourt les divisions de la graduation.

La boussole des tangentes peut servir de boussole des sinus en rendant le cadre mobile et remplaçant l'aiguille des tangentes par une aiguille ordinaire en forme de losange allongé.

Le *multiplicateur conique de M. Gaugain* se rapproche beaucoup plus que le galvanomètre ordinaire des tangentes des conditions de la théorie : le cadre forme la base d'un cône droit au sommet duquel est placée l'aiguille, la hauteur du cône étant la moitié du rayon de base. On double l'action avec deux cadres placés symétriquement de chaque côté de l'aiguille.

Weber mesure les courants par l'action d'un cadre rectangulaire sur un *magnétomètre* (barreau aimanté suspendu) placé à distance. La déviation est très petite, mais il compense cette petitesse par la précision de la mesure en empruntant à *Gauss* le principe de la réflexion : un miroir collé à l'aimant réfléchit une échelle divisée disposée à quelque distance, et on lit la division réfléchie qui passe au réticule d'une lunette placée sur l'échelle.

Pour obtenir que l'aiguille se fixe du premier coup à sa position d'équilibre, Weber a *amorti* les oscillations en entourant l'aimant d'une masse de cuivre rouge, qui arrête les vibrations autour de la position d'équilibre par l'effet des courants induits que l'aimant en mouvement développe dans la masse. C'est le principe des galvanomètres *apériodiques* ou *amortisseurs*. On peut se contenter de placer sur le prolongement de la suspension une plaque d'aluminium plongeant dans un vase rempli d'eau à hauteur convenable.

La boussole des tangentes devient un *instrument absolu* si l'on connaît le nombre des tours de fil, les dimensions du cadre et la valeur de la composante horizontale du magnétisme terrestre. Il en est de même de la boussole des sinus, quand le cadre est circulaire et l'aimant très petit. Comme ces données sont difficiles à obtenir exactement, il vaut mieux déterminer la *constante* par comparaison électrique avec une grande *bobine-étalon*, construite de façon à rendre aussi uniforme que possible dans sa partie centrale le champ de force qu'elle développe, et ne contenant que quelques tours de fil afin de pouvoir déterminer avec précision la longueur et la position de chacun d'eux et calculer leur action. On prend la constante en plaçant le galvanomètre dans l'intérieur de la bobine-étalon, de façon que les tours de fil des deux bobines soient concentriques et dans le méridien magnétique ; puis on envoie, dans les deux circuits, des courants de direction inverse et dont on fait varier le rapport des intensités, à l'aide de résistances, jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre reste au zéro par l'action combinée des deux bobines. Le rapport des intensités, déduit d'ailleurs des résistances des appareils et de celles introduites dans l'expérience, donne la constante.

Du moment qu'on peut avoir la constante par comparaison avec un instrument absolu, on doit se préoccuper surtout de construire un appareil sensible et donnant des déviations proportionnelles. C'est un point de vue tout différent : on cherche à rendre le champ de force du courant autour de l'aimant très intense et non plus très régulier : au lieu de quelques tours de fil enroulé sur un grand cadre, on prend des bobines ne laissant à l'aimant que l'espace nécessaire pour osciller librement, et l'on met le plus grand nombre de tours possible dans le voisinage de l'aimant, en formant les premières spires de fil très fin, sauf à employer pour les dernières du fil plus gros afin que l'appareil n'ait pas une résistance trop grande. On donne aux bobines une forme cylindrique aplatie, car les tours de fil placés suivant l'axe de l'aiguille ont plus d'action que ceux disposés latéralement. L'aimant est un tout petit ressort de montre, afin de ne pas trop s'écarter cependant des conditions théoriques; souvent on en dispose plusieurs parallèlement, et on les colle au dos d'un petit miroir très léger. Une lampe placée derrière une échelle divisée, à la distance de $0^m,75$ ou 1 mètre du miroir, envoie sur celui-ci un faisceau lumineux à travers une fente de l'échelle. Un aimant directeur ramène, au repos, l'image réfléchie de la fente sur le zéro de l'échelle. Quand on fait passer le courant, les lectures de l'échelle sont égales au produit de la distance de l'échelle au miroir par la tangente d'un angle double de la déviation du miroir. Mais comme ces déviations, ramenées dans les limites de l'échelle, sont toujours très petites, on peut remplacer tang 2δ par 2 tang δ, en sorte qu'on a par le fait un galvanomètre des tangentes dont l'aiguille indicatrice atteint une longueur de $1^m,50$ ou 2 mètres, tout en res-

tant impondérable, et dont les déplacements, sur une échelle droite divisée en parties égales, sont proportionnels à l'intensité du courant.

Pour les courants intenses, on ramène les déviations dans les limites de l'échelle en ajoutant des résistances dans le circuit du courant, ou en dérivant une portion du courant à travers une résistance reliant les deux bornes auxquelles aboutit le fil du cadre. Habituellement chaque instrument est muni de trois *bobines de dérivation*, que l'on introduit à volonté et qui ne laissent passer autour de l'aimant que le $\frac{1}{10}$, le $\frac{1}{100}$ ou le $\frac{1}{1000}$ du courant total. En multipliant par 10, 100 ou 1.000 la déviation obtenue, on obtient la déviation qui correspond au courant total; mais il faut remarquer que ce courant total est plus fort que le courant qui aurait traversé le galvanomètre, s'il n'eût pas été dérivé; car la résistance de l'appareil a été réduite par la dérivation. On évitera ce changement en employant des *résistances de compensation*, convenablement calculées, que l'on ajoute dans le circuit principal en même temps que l'on introduit les dérivations. Certains galvanomètres ont ainsi leur jeu de dérivations complété par les résistances de compensation correspondantes. Les dérivations permettent de comparer des courants très inégaux.

Le galvanomètre à miroir le plus simple est le *galvanomètre parlant*, employé comme appareil de réception dans la télégraphie sous-marine : le miroir et l'aimant sont fixés à un fil tendu par ses deux bouts dans un petit cylindre de cuivre introduit dans l'ouverture centrale.

Dans le *galvanomètre marin*, destiné aux essais des câbles électriques à bord des navires, on a soin que le fil tendu passe par le centre de gravité du système formé par l'aimant et le miroir, pour éviter les oscillations du

roulis et du tangage. Enfin, pour préserver l'instrument des perturbations que produiraient les forces magnétiques extérieures (notamment le déplacement des masses de fer des machines en mouvement et la variation de la masse de fer qui constitue l'armature du câble et qui change à tout instant pendant l'immersion ou le relèvement), on l'entoure d'une cage épaisse en fer ; car le magnétisme ne traverse pas une enceinte magnétique d'épaisseur suffisante.

Les *galvanomètres astatiques à réflexion* ont une bobine autour de chaque aimant. L'aimant supérieur, ou le système des petits aimants, est collé au miroir ; l'aimant inférieur est muni d'une petite girouette en aluminium pour amortir les vibrations par la résistance de l'air. Dans quelques instruments, dans ceux destinés aux cours, par exemple, on empêche les vibrations de la salle de se communiquer au miroir, en prolongeant la tige d'aluminium, qui rend les aimants solidaires, et la terminant par une lame du même métal plongeant dans l'eau ou l'huile.

Dans le *galvanomètre astatique différentiel à réflexion*, les bobines supérieure et inférieure qui entourent chacun des aimants astatiques sont formées de deux parties : les deux moitiés antérieures de chacune des bobines constituent un des circuits, et les deux moitiés postérieures l'autre circuit. Pour avoir un appareil parfaitement différentiel, on égalise séparément l'effet magnétique de chaque circuit et leur résistance. Pour cela, on ajoute au circuit le plus faible quelques tours de fil que l'on place dans un tube de laiton, qui peut glisser dans un tube fixe situé derrière la bobine supérieure et sur le prolongement de l'axe du miroir. En approchant ou éloignant le tube mobile de l'aimant, on arrive à l'éga-

lité complète des deux actions. On compense ensuite, s'il y a lieu, l'inégalité de résistance des deux circuits par une résistance auxiliaire, placée dans le circuit le moins résistant, de façon à ne pas agir sur l'aimant.

Les quatre extrémités des circuits aboutissent à quatre bornes, qui établissent les communications de l'instrument soit en différentiel, soit en simple avec l'un ou l'autre des circuits, ou avec les deux circuits parcourus successivement par le courant de façon à ajouter leurs effets (disposition en *tension*), ou avec les deux circuits parcourus simultanément et parallèlement par le courant de façon à ajouter aussi leurs effets (disposition en *quantité*). Dans la disposition en quantité, la résistance est réduite au quart de celle de l'appareil disposé en tension. Le jeu de *dérivations* correspond à la disposition en tension.

Le *galvanomètre différentiel de M. Clark*, qui est destiné à être transporté, a une aiguille aimantée ordinaire montée sur un pivot. Chaque circuit est muni d'une dérivation au $\frac{1}{100}$.

En donnant au galvanomètre une résistance très grande par rapport aux autres résistances du circuit, on pourra comparer directement, par les intensités des courants qu'elles produisent, les différences de potentiel de deux points reliés à l'instrument, ou les forces électromotrices de diverses sources (galvanomètre de *tension*). Par contre, si l'on veut étudier les variations d'intensité d'un courant, ou mesurer la résistance intérieure d'une source, ou comparer des courants sans les altérer sensiblement, la résistance du galvanomètre doit être faible par rapport aux résistances du reste du circuit ou des sources que l'on étudie (galvanomètre de *quantité*).

Certains galvanomètres sont munis de deux circuits,

l'un très résistant, l'autre peu résistant. Ils ont souvent deux graduations obtenues par comparaison avec un instrument absolu, l'une en *volts* pour les potentiels, l'autre en *webers* pour les intensités.

Divers instruments ont été récemment imaginés pour la mesure des courants énergiques engendrés par les machines magnéto ou dynamo-électriques. On peut se servir à cet effet du *galvanomètre d'Obach*, qui est un galvanomètre des tangentes dont le cadre vertical est rendu mobile autour de son diamètre horizontal et peut s'incliner plus ou moins sur le plan de l'aiguille. La déviation pour une intensité donnée est proportionnelle au *cosinus* de l'angle du cadre avec la verticale, et par suite diminue quand cet angle croît. On l'appelle aussi *galvanomètre des cosinus*.

Le *galvanomètre à arête de M. Deprez* n'a pas d'aiguille aimantée en acier, mais il est muni de dix-huit petites aiguilles en fer doux, montées parallèlement sur la même arête ou axe commun, et placées entre les longues branches d'un fort aimant en fer à cheval qui les polarise et les dirige dans son plan. Le fil est enroulé sur un cadre situé entre les aiguilles et les branches de l'aimant. Une aiguille indicatrice fixée à angle droit sur l'axe parcourt une graduation, et l'instrument peut être étalonné par comparaison avec un instrument absolu; ou bien encore, on équilibre l'action magnétique par un poids mobile sur un bras de levier solidaire de l'axe. Dès que le courant passe, l'aiguille saute brusquement à sa nouvelle position d'équilibre, où elle vibre un instant comme un diapason (*).

(*) Ce galvanomètre est donc *apériodique*. Un instrument devient apériodique quand la période des vibrations propres de la partie mobile est très petite par rapport à la durée du phénomène à enregistrer. D'où

Dans un autre *mesureur de courant*, M. Deprez remplace les aiguilles de fer doux et le cadre par une bobine de fil enroulé longitudinalement, dont l'axe est placé entre les branches de l'aimant permanent et parallèlement à elles. L'aimant et la bobine sont disposés tantôt horizontalement, tantôt verticalement. Dans le premier cas, le courant pénètre par des godets de mercure dans la bobine mobile : elle s'incline dans un sens ou dans l'autre, et l'action est mesurée par la distance à laquelle il faut placer un poids sur un levier solidaire de la bobine pour la ramener à sa position initiale. Dans le second cas, la bobine est suspendue par les fils qui amènent le courant et dont la torsion fait équilibre à l'action électrique. Un miroir porté par la bobine permet d'appliquer la méthode de réflexion à la mesure de la déviation. Par une disposition imitée *syphon-recorder de Thomson*, on concentre les lignes de force du champ sur les tours de fil à l'aide d'un cylindre de fer doux *fixe*, placé à l'intérieur de la bobine. Ces appareils sont munis d'un second circuit consistant en une lame étroite d'aluminium formant un simple cadre rectangulaire très peu résistant que traverse le courant.

Enfin, pour mesurer la différence de potentiel entre deux points du circuit d'une machine dynamo, MM. *Siemens* et *Halske* emploient un *galvanomètre de torsion*, dans lequel la force exercée sur un aimant, en forme de dé à coudre renversé, fendu longitudinalement et dont chaque moitié constitue un pôle, est équilibrée par la torsion d'un ressort en spirale.

la règle pratique qu'il faut donner à la partie mobile (l'aiguille ou l'aimant et le miroir) une masse très faible et employer une force directrice très grande. Cette règle a déjà été appliquée par M. Thomson dans son *Dead beat speaking galvanometer*.

Deux courants peuvent encore être comparés par la force attractive qu'exerce sur une armature de fer doux un électro-aimant placé successivement dans le circuit de chacun d'eux. C'est le principe de la *balance électro-magnétique de M. Becquerel.*

Pour compléter l'énumération des instruments destinés à la mesure des courants permanents par leurs phénomènes magnétiques, ajoutons que le *téléphone*, grâce à sa sensibilité, peut être employé comme galvanoscope dans les méthodes de réduction à zéro. Comme il ne fonctionne que sous l'action de courants vibratoires, il faut avoir soin d'intercaler un trembleur ou un diapason entretenu électriquement, qui ouvre et qui ferme le circuit à de très petits intervalles.

La *quantité* d'électricité qui passe dans un courant instantané, tel qu'un courant d'induction ou les courants de charge et de décharge des condensateurs, se déduit, par application des formules balistiques, de l'*élongation*, c'est-à-dire de la déviation instantanée et passagère que prend l'aiguille par l'effet de l'impulsion qu'elle reçoit. Il importe, pour avoir des résultats dignes de confiance, que cette élongation ne soit pas diminuée par la résistance de l'air. On appelle *galvanomètres balistiques* les instruments dans lesquels cette précaution est prise. MM. *Ayrton* et *Perry* se servent d'un galvanomètre astatique à réflexion dans lequel ils remplacent chaque aimant par un système de 20 petits aimants parallèles, formant la charpente d'une sphère dont la surface est composée de segments taillés dans une balle de plomb creuse. Deux sphères pareilles, réunies par une tige, constituent un système astatique, au mouvement duquel l'air n'oppose qu'une résistance négligeable.

Les *électro-dynamomètres* sont les appareils de mesure fondés sur l'action des courants sur les courants. Ils donnent des indications proportionnelles au carré de l'intensité des courants et, par suite, indépendantes du sens du courant. Ils sont donc très propres à la mesure des *courants alternatifs*, tels que les courants d'induction.

L'avantage de ces instruments sur les galvanomètres, pour les mesures absolues, consiste en ce que, ne renfermant pas d'aimants, il est facile de rendre leurs indications indépendantes du magnétisme terrestre. L'*électro-dynamomètre de Weber* se compose d'une bobine fixe et d'une bobine intérieure à suspension bifilaire, dont les spires sont concentriques à celles de la bobine fixe, les axes des deux bobines étant d'ailleurs à angle droit. Les fils de suspension amènent le courant de l'une à l'autre, et la torsion du bifilaire fait équilibre à l'action des bobines. Les déviations de la bobine mobile sont enregistrées par la méthode du miroir (*).

L'Association britannique a fait construire un *grand électro-dynamomètre étalon* pour la détermination des constantes des galvanomètres et plus généralement des bobines ou hélices (nombre de tours, somme des aires des cercles, etc.). La bobine fixe de cet appareil est la bobine étalon, dont on a parlé à propos des galvanomètres; la bobine mobile peut être enlevée et remplacée par le

(*) La bobine bifilaire peut être indépendante de la bobine fixe et placée à distance avec son centre sur le prolongement de l'axe de la bobine fixe ou sur la perpendiculaire à cet axe menée par le centre de celle-ci; en d'autres termes, les axes des deux bobines peuvent être placés dans les positions relatives des *aimants de Gauss*. La théorie des appareils ainsi disposés, comme celle des galvanomètres et des bobines agissant à distance sur des magnétomètres, se déduit simplement de la théorie des aimants de Gauss, en remplaçant les bobines par leurs aimants équivalents.

galvanomètre ou l'hélice dont on veut mesurer les constantes.

Dans l'*électro-dynamomètre à poids* ou *balance électro-dynamique*, la bobine mobile est placée à l'extrémité d'un fléau de balance, et l'on mesure l'attraction de la bobine fixe, placée parallèlement à la première et au-dessous, par le poids qui lui fait équilibre à l'autre bout du fléau.

Dans d'autres appareils, la bobine est suspendue à l'un des bras d'une balance de torsion, entre deux bobines parallèles fixes, dont l'une l'attire et l'autre la repousse, de façon que les actions s'ajoutent. En répétant cette disposition sur l'autre bras, on double l'action, et l'effet du magnétisme terrestre est détruit, si les bobines suspendues sont traversées par le courant dans des directions opposées.

Les électro-dynamomètres sont employés dans la pratique pour la mesure des courants alternatifs des machines dynamo. MM. *Siemens* et *Halske* ont construit à cet effet un *électro-dynamomètre à torsion* qui mesure les intensités, tandis que leur galvanomètre de torsion mesure les potentiels.

La quantité et l'intensité se mesurent par les *phénomènes électro-chimiques* à l'aide des *voltamètres*. Tous les voltamètres traversés par le même courant décomposent la même quantité d'électrolyte : leurs indications sont donc *absolues*, en ce sens qu'elles ne dépendent pas de l'instrument particulier dont on s'est servi, tandis que les instruments magnétiques ou dynamiques ont chacun leur constante propre. On s'est servi longtemps comme unité de courant du volume du gaz détonant, ou du volume de l'hydrogène seulement, ou du poids de ce gaz

dégagé dans une minute dans un *voltamètre à eau acidulée.* Le poids dégagé dans un temps donné mesure alors la quantité d'électricité qui a passé pendant ce temps. Pour des expériences précises, il est préférable d'employer des *voltamètres à sulfate de cuivre* ou *à sels d'argent* avec des électrodes du métal correspondant, c'est-à-dire de cuivre ou d'argent, à raison de l'équivalent élevé de ces métaux. On prend l'accroissement de poids de l'une des électrodes, ou la diminution de poids de l'autre, ou mieux la moyenne des deux ; et connaissant l'équivalent électro-chimique du métal, la mesure en webers s'obtient facilement.

Rappelons, mais pour mémoire, car ce n'est pas un procédé usuel, qu'on peut mesurer la force électromotrice d'une pile par la chaleur de combinaison de ses réactions chimiques.

Les *phénomènes calorifiques* permettent de mesurer l'énergie d'un courant par les méthodes calorimétriques et l'emploi de l'équivalent mécanique de la chaleur. Connaissant le travail et la résistance, la formule de Joule donnera l'intensité en mesure absolue, et l'intensité entrant au carré dans cette formule, la méthode sera applicable aux courants alternatifs.

Étalons de résistance et de capacité.

Une *bobine de résistance* se compose d'un fil métallique de résistance connue, qu'on peut facilement introduire ou supprimer dans un circuit. Le fil est recouvert de soie, puis enroulé *en double*, c'est-à-dire en commençant par le milieu, afin que les courants induits qui cir-

culent dans une moitié soient détruits par ceux qui circulent dans l'autre moitié.

Dans les *étalons* et les *copies de l'unité* BA, ce fil, le plus souvent en maillechort (argent allemand), quelquefois en platine-iridium ou platine-argent, a de 1 à 2 mètres de long et un diamètre de $0^{mm},5$ à $0^{mm},8$. Ses extrémités sont soudées à des barres de cuivre : il est recouvert de deux couches de soie, puis noyé dans de la paraffine solide et enfermé dans une cage de laiton mince, afin de pouvoir être plongé dans l'eau et prendre rapidement la température pour laquelle la résistance est exactement de une unité, température marquée d'ailleurs sur la bobine.

La résistance électrique des alliages choisis est peu affectée par les variations de température, elle est assez grande pour ne pas nécessiter trop de fil ; elle ne s'altère pas par la cuisson, c'est-à-dire l'exposition prolongée à une haute température, ce qui est très important, car les alliages qui ne s'altèrent pas par la cuisson ne s'altèrent pas avec le temps ; elle change peu par le recuit. Enfin ces alliages ne s'oxydent pas à l'air et sont très ductiles.

Les séries d'étalons gradués constituent des *rhéostats* ou *boîtes de résistance.* Les extrémités du fil de chaque bobine sont soudées à des plaques de cuivre séparées les unes des autres par des trous que l'on peut boucher avec de chevilles de laiton à tête isolante. On introduit une bobine dans le circuit en retirant la cheville du trou correspondant, on la supprime du circuit en enfonçant la cheville.

Les boîtes de résistance renferment le plus souvent 16 bobines, dont les résistances combinées entre elles donnent tous les nombres de 1 à 10.000. Dans d'autres appareils, on a 4 séries de 9 bobines chacune ; les bo-

bines de chaque série sont égales entre elles et représentent les unités, dizaines, centaines, etc. La résistance voulue est alors obtenue en introduisant une cheville par série.

On peut encore prendre des bobines représentant l'unité et les puissances successives de 2 (système binaire) : c'est le système qui exige le moins de bobines et qui permet la vérification la plus facile du rhéostat. Enfin on obtient des résistances inférieures à l'unité en se servant de bobines disposées en *arcs parallèles* (ou en quantité) : l'inverse de la résistance composée ainsi obtenue est la somme des inverses des résistances individuelles.

D'autres rhéostats ont la forme circulaire, et l'on fait varier les résistances en déplaçant un bras mobile autour du centre, et dont l'extrémité vient appuyer sur des contacts placés aux points de jonction des bobines consécutives. Cette extrémité doit avoir une forme telle qu'avant de quitter un contact, elle touche le suivant, afin de ne pas couper le circuit pendant qu'on fait varier la résistance.

Le *rhéostat à curseur* est un rhéostat composé de 10 ou 100 bobines égales dont les jonctions sont reliées à de petits blocs sur lesquels peut glisser successivement un *curseur* muni d'un contact. Mis dans le circuit d'une pile, ce rhéostat fournit une échelle de potentiels très utile dans certaines expériences.

MM. *Thomson* et *Varley* ont construit une échelle de potentiels donnant tous les nombres de 1 à 10.000, avec deux rhéostats à curseur : l'un, contenant 101 bobines de 100 ohms chacune, forme le circuit principal; l'autre, composé de 100 bobines de 2 ohms, constitue un circuit dérivé qui peut relier deux points quelconques du premier, pourvu qu'ils soient séparés par 2 bobines.

Le *rhéostat de Wheatstone*, composé d'un fil de diamètre uniforme, enroulé partie sur une vis en ébonite et partie sur un cylindre métallique, donne une résistance qui peut varier d'une *façon continue :* il est plus simple de se servir d'un fil résistant bien calibré, tendu sur une échelle divisée et sur lequel glisse un curseur muni d'un contact, qui fait varier sa longueur utile ou le rapport des deux résistances comprises entre le contact et les extrémités du fil ; ou bien le fil est enroulé sur une vis en ébonite mobile et frotte contre un contact fixe.

La *balance* ou *pont de Wheatstone* est la méthode de réduction à zéro la plus employée dans la mesure des résistances. Concevons quatre résistances a, b, c, d, disposées suivant les quatre côtés d'un quadrilatère dont les diagonales sont occupées l'une par la pile, l'autre par le galvanomètre : aucun courant ne traverse celui-ci, si les résistances satisfont à la relation $ac = bd$; et réciproquement, si le galvanomètre ne dévie pas, c'est que la relation existe ; d'où, connaissant trois des quantités a, b, d, on aura, pour la quatrième $c = b\frac{d}{a}$. La méthode peut être appliquée de deux manières : tantôt la résistance de *comparaison* b est variable, et le rapport des *branches de proportion* $\frac{d}{a}$ est fixe ; tantôt la résistance de comparaison b est fixe et le rapport $\frac{d}{a}$ doit pouvoir prendre toutes les valeurs.

La première forme est la plus employée : on place souvent dans la même boîte un rhéostat de 1 à 10.000 unités qui forme la résistance de comparaison variable, et deux séries de 3 bobines (10, 100, 1.000) ; celles-ci forment les branches de proportion entre lesquelles on

peut établir des rapports égaux à $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{10}$, 1, 10 et 100, en sorte que l'on peut mesurer des résistances comprises entre 0,01 et 1.000.000.

La seconde forme est ce qu'on appelle le *pont à curseur*, ou *à fil calibré*. Un fil métallique, très résistant et de diamètre bien régulier, est tendu sur une règle divisée; ses extrémités sont reliées l'une à la résistance fixe de comparaison, l'autre à la résistance inconnue. Un curseur, mobile sur le fil et relié à l'une des bornes du galvanomètre, établit entre les deux parties du fil qu'il sépare un rapport qui peut prendre toutes les valeurs possibles (*). L'usage d'un fil calibré est peu répandu dans la pratique courante, à raison des précautions nombreuses qu'il faut prendre pour éviter les causes d'erreur; mais il est appliqué souvent dans le labaratoire, soit à la construction des copies de l'unité comme dans le *pont de l'Association britannique*, où l'on étalonne par approximations successives; soit dans la mesure des très petites résistances, comme dans la *double balance de Thomson* et dans celle de *Matthiessen et Hockin*. De même que, pour avoir des mesures de longueur exactes, on substitue le mètre à *traits* au mètre à *bouts*, de même, dans ces deux dernières méthodes, on compare des résistances comprises entre deux traits, et l'on élimine les difficultés tenant à l'imperfection des contacts, soit en rendant les résistances de ces contacts négligeables par rapport à d'autres résistances auxiliaires (Thomson), soit en s'arrangeant de telle sorte que ces résistances fassent partie de la branche du galvanomètre, où elles sont sans influence sur la mesure, puisque, quand l'équilibre est

(*) Le *rhéostat à curseur de Thomson et Varley* peut remplacer le fil divisé.

établi, aucun courant ne passe dans cette branche (Matthiessen et Hockin).

Parmi les méthodes de réduction à zéro, il faut citer encore, pour la comparaison des forces électromotrices, la méthode de *compensation* et celle du *potentiomètre de Clark*, qui est un perfectionnement de la précédente et où l'on opère par une double réduction à zéro.

Le *galvanomètre universel de Siemens* permet de mesurer soit les résistances par un pont à fil calibré, soit les forces électromotrices par la méthode de compensation.

S'il n'y a pas courant entre deux points, c'est que ces deux points sont au même potentiel : on peut donc remplacer le galvanomètre par un électromètre dans les méthodes de réduction à zéro.

Les trois méthodes de réduction à zéro, par le *galvanomètre différentiel*, par le *pont de Wheatstone* et par la *compensation de deux piles*, ont une importance pratique considérable ; car, outre leur application aux mesures, elles donnent *trois* solutions de la *télégraphie double*, ou transmission *simultanée* de deux dépêches en sens contraire.

Enfin, quand la résistance inconnue est trop grande pour être mesurée par le pont, on la met en circuit avec une pile et un galvanomètre, et l'on note la déviation, que l'on compare avec la *constante de sensibilité* du galvanomètre, c'est-à-dire la déviation fournie par la *même* pile dans un circuit d'une résistance connue, 1 megohm par exemple. Si le galvanomètre est à déviations proportionnelles, le rapport des déviations est inverse des résistances totales des deux circuits : d'où l'on déduit la résistance inconnue, connaissant les résistances de la pile et du galvanomètre.

L'étalon de capacité est un condensateur composé de feuilles d'étain superposées et séparées les unes des autres par des lames de mica ; on relie ensemble toutes les feuilles de rang pair, et toutes celles de rang impair, et l'on a les deux armatures qu'on fait aboutir chacune à un bloc de cuivre : pour décharger le condensateur, il suffit d'introduire une cheville métallique entre ces deux blocs. Sa capacité est d'un microfarad. Les condensateurs-étalons en usage sont formés quelquefois de 4 condensateurs, respectivement de 1, 2, 3 et 4 dixièmes d'unité, disposés dans la même boîte de façon à pouvoir être facilement assemblés en surface. On emploie beaucoup, dans la télégraphie sous-marine, des étalons de 1/3 microfarad, parce que la capacité d'un mille marin de câble ordinaire en gutta-percha a une valeur très voisine de celle-ci. Pour les condensateurs destinés à des mesures moins précises, tels que ceux employés dans la télégraphie double, on remplace le mica par du papier paraffiné.

Les condensateurs à diélectrique solide sont d'une construction assez simple et donnent une grande capacité sous un petit volume ; malheureusement leur capacité n'est pas bien définie à cause des phénomènes de décharge résiduelle (*), et, comme la charge qu'ils prennent dépend de la durée de leur communication avec la source, il faut déterminer cette durée dans les expériences comparatives. L'air est le seul diélectrique sûr pour les étalons ; mais il faut qu'il soit desséché et renfermé dans un vase bien clos, car les moindres poussières changent l'épaisseur de la couche isolante et éta-

(*) Maxwell a démontré mathématiquement que tout diélectrique qui n'est pas parfaitement homogène doit donner lieu à des phénomènes de décharge résiduelle, quand bien même chacune des substances qui le composent n'en produirait pas si elle était seule.

blissent des dérivations entre les armatures. On a songé naturellement à prendre, comme étalons, les condensateurs *absolus*, c'est-à-dire d'une forme géométrique telle qu'on peut calculer rigoureusement leur capacité en mesure statique, en ayant leurs dimensions : la sphère isolée dont s'est servi Cavendish, ou les deux sphères concentriques de Faraday. Mais une sphère isolée a une capacité faible, et il est difficile d'obtenir deux surfaces bien sphériques et bien concentriques et de mesurer avec précision leur distance et leurs rayons. Les capacités des condensateurs à plaques parallèles et à cylindres concentriques peuvent être calculées approximativement; ces condensateurs sont précieux dans les expériences électrostatiques, car on peut faire varier leur capacité d'une façon continue, en changeant, au moyen d'une vis micrométrique, la distance des plaques des premiers ou la longueur des parties qui se recouvrent dans les seconds.

En assemblant des condensateurs en *surface* ou en *cascade*, on obtient des systèmes dont la capacité se calcule facilement ; toutes les questions de condensateurs se ramènent d'ailleurs à des questions de résistances, en traitant un condensateur comme un conducteur dont la résistance aurait pour valeur l'inverse de la capacité (*). L'inverse de la capacité s'appelle la *résistance inductive*. Il est dès lors facile de comprendre l'application aux mesures de capacité des méthodes de réduction à zéro ; par exemple, la substitution de condensateurs aux résistances dans deux des branches du pont, ou même dans les quatre. On compare aussi les capacités de deux condensateurs en déterminant la valeur des potentiels auxquels il faut les charger, l'un positivement, l'autre

(*) Cela résulte de la comparaison des formules $I = \frac{E}{R}$ et $Q = CE$.

négativement, pour qu'ils prennent des charges susceptibles de se neutraliser exactement. Ces expériences peuvent se faire, soit avec l'électromètre, soit avec le galvanomètre ; mais l'électromètre maintient la différence de potentiel qu'il constate entre deux points, tandis que le galvanomètre la détruit. Le premier donne donc des indications *permanentes*, tandis que celles du second sont *passagères*.

Le galvanomètre *balistique* permet de comparer les capacités par les quantités d'électricité que leur communique une même force électromotrice.

On compare enfin les forces électromotrices par les charges qu'elles donnent à un même condensateur, et c'est là un des usages les plus fréquents des condensateurs dans les mesures électriques.

Instruments accessoires.

Les instruments accessoires employés dans la mesure électrique sont très simples, et leur mécanisme est facile à saisir à la simple inspection. Ce sont :

Les *commutateurs-interrupteurs*, pour envoyer le courant ou le supprimer à volonté sur une direction ou sur une autre (commutateurs ronds à manette, ou carrés à chevilles) ;

Les *commutateurs-inverseurs*, pour changer le sens du courant, tantôt dans tout le circuit en intervertissant les pôles de la pile, tantôt dans le galvanomètre seulement en intervertisssant les fils aux bornes d'entrée et de sortie (commutateurs à roulette, à chevilles, etc.) ;

Les *clefs de court circuit*, mettant le galvanomètre ou une résistance hors du circuit, en ouvrant au courant un passage sans résistance ;

Les *clefs de contact* (manipulateurs), pour envoyer le courant; les *clefs doubles ou à inversion* (manipulateurs à inversion), pour envoyer à volonté un courant positif ou négatif; les *clefs à trois ressorts*, pour établir le contact de pile avant celui du galvanomètre et l'interrompre après, évitant ainsi le passage, dans l'instrument, des charges et des décharges.

Les *clefs de décharge* (clefs de Lambert, de Webb, de Sabine, de Jones, etc.) qui établissent la communication du circuit avec la pile, ou avec la terre, ou qui l'isolent au contraire à la fois de la pile et de la terre.

VI.

CONCLUSION.

L'emploi du système absolu a pour résultat de simplifier la solution des problèmes électriques qui se présentent dans la pratique, en supprimant les coefficients d'expérience qui compliquent les formules quand on se sert d'unités arbitraires. « Le mot *absolu*, dit le rapport du Comité de l'Association britannique de 1862, n'implique nullement une précision plus grande dans la mesure, ni une construction plus parfaite de l'unité employée : il signifie seulement que la mesure, au lieu d'être une simple comparaison avec une quantité arbitraire de la même espèce, est rapportée à certaines unités fondamentales que l'on admet en principe. L'utilité du système absolu se résume à éviter des coefficients en passant d'une espèce d'unité à une autre. Il est évident qu'on peut exprimer tous les rapports entre les diverses grandeurs à mesurer, quelque arbitraires et différentes que soient les unités, mais chaque opération nécessite l'introduction de

facteurs, et de plus *quand les rapports entre plusieurs espèces de mesure ne sont pas immédiatement évidents, l'usage du système absolu conduit beaucoup plus rapidement à une connaissance générale de ces rapports.* »

L'exactitude de cette assertion a été bientôt confirmée de la façon la plus brillante et la plus inattendue, et la connaissance des rapports entre les deux systèmes de mesure absolue a conduit à des résultats de la plus haute importance pour l'avancement de la science. Pour passer d'un système d'unités dérivées à un autre système, il est indispensable de connaître les *dimensions* de ces unités, c'est-à-dire la puissance à laquelle les unités fondamentales de longueur, temps et masse, entrent dans l'expression algébrique de l'unité dérivée. En examinant ces dimensions, on voit immédiatement que le rapport entre les unités de quantité ou d'intensité, dans les deux systèmes, s'exprime par une vitesse, et que les rapports entre les autres unités s'expriment par l'inverse de cette même vitesse, ou par son carré, ou par l'inverse de son carré (*). La valeur numérique de cette vitesse a été obtenue expérimentalement de plusieurs manières, en mesurant une même grandeur électrique dans les deux systèmes, et l'on a trouvé qu'elle était d'environ 300 millions de mètres par seconde, c'est-à-dire *sensiblement égale à la vitesse de la lumière* (**) : les divers nombres obtenus

(*) Le rapport est indépendant de l'unité de masse et par suite resterait le même si l'on prenait le poids comme unité fondamentale.

(**) En partant de cette idée qu'un corps électrisé animé d'un mouvement rapide doit produire les effets d'un courant électrique, Maxwell a pu donner une conception physique de la vitesse qui représente le rapport des unités. Imaginons deux plans indéfinis, parallèles, chargés d'électricité de la même espèce, et animés d'un mouvement uniforme dans la même direction; leurs charges statiques tendront à se repousser, tandis que les courants résultant du mouvement tendront à s'attirer, et, pour une certaine vitesse, il arrivera que leur répulsion électro-statique sera équilibrée par leur attraction électro-dynamique : cette vitesse doit

par les expérimentateurs ne diffèrent pas plus entre eux que ne diffèrent entre elles les différentes déterminations de la vitesse de la lumière.

Venant après les faits de la polarisation rotatoire magnétique découverts par Faraday et développés par Verdet, ce résultat a jeté un jour nouveau sur les relations de l'électricité et de lumière. Il a conduit Maxwell à une théorie électro-magnétique de la lumière, dont le point de départ est que l'induction électro-magnétique se propage dans l'espace avec la vitesse exprimée par le rapport des unités, et dont la conclusion est que le milieu par lequel s'effectue cette propagation est le même que celui qui transmet les vibrations lumineuses. Si cette conclusion est exacte, et sauf exceptions que la théorie devra expliquer pour être complètement assise, les bons conducteurs doivent être opaques et les diélectriques doivent être transparents. D'où cette conséquence que, dans les diélectriques transparents, l'induction électro-magnétique doit se propager avec la vitesse même de la lumière. Or ceci implique que leur capacité inductive spécifique doit être numériquement égale au carré de leur indice de réfraction. De là les nombreux travaux dont la capacité inductive spécifique des solides, des liquides et des gaz est l'objet depuis dix ans. L'étude des solides

être précisément celle qui représente le rapport des unités, c'est la vitesse de la lumière.

Les expériences récentes de M. Rowland ont justifié cette conception. M. Rowland est parvenu en effet à faire dévier une aiguille aimantée par l'action d'un corps, chargé d'électricité statique, auquel il imprimait un mouvement très rapide, et à mesurer cette action pour les vitesses qu'il a pu réaliser. Or, partant du rapport des unités, on peut calculer quelle doit être l'action pour ces mêmes vitesses : il a fait ce calcul en donnant au rapport la plus grande et la plus petite des valeurs trouvées par les expérimentateurs, et il a constaté que l'effet observé était compris entre les effets calculés.

et des liquides présente de grandes difficultés, car les phénomènes de décharge résiduelle compliquent et troublent les mesures; on constate souvent des différences notables entre les nombres trouvés par divers expérimentateurs, et par suite la concordance avec le carré de l'indice de réfraction laisse en général à désirer. Mais l'étude des gaz a conduit à des résultats remarquables. Faraday croyait que l'air et les autres gaz avaient la même capacité inductive spécifique à toute température et à toute pression : on a établi qu'il n'en était point ainsi et que chaque gaz avait une capacité inductive qui lui était propre dans des conditions déterminées de température et de pression; c'est donc au vide et non à l'air que cette propriété doit être rapportée, et les expériences se poursuivent encore aujourd'hui jusque dans les vides les plus reculés. Or les valeurs numériques obtenues jusqu'ici concordent très sensiblement avec les carrés des indices de réfraction.

Des découvertes récentes ont mis en évidence de bien des manières les relations de l'électricité et de la lumière : les découvertes du docteur Kerr concernant la propriété de biréfringence que le verre et certains liquides acquièrent sous l'influence de l'étincelle d'induction, et la rotation de la lumière réfléchie sur un aimant; celle de la polarisation rotatoire magnétique dans les gaz, enfin celle de l'action de la lumière sur la conductibilité électrique du sélénium, d'où est sorti le *photophone*. Chaque progrès de l'électro-optique tend en définitive à confirmer l'exactitude de la conclusion posée par Faraday à la fin de son mémoire touchant l'*action des aimants sur la lumière* (1845), à savoir que « ce grand pouvoir de la nature, qui se manifeste sous des formes particulières par des phénomènes particuliers, révèle une fois de plus son

identité par les relations directes de sa forme lumière avec ses formes électricité et magnétisme. »

Mais de tous les témoignages que l'on peut invoquer en faveur de cette communauté d'origine des phénomènes électriques et lumineux dont la conception s'imposa à Faraday comme conséquence de sa *croyance énergique* dans l'unité des forces, le plus important sans contredit est celui qui établit l'identité de l'éther lumineux avec l'éther électrique par l'identité des vitesses de la lumière et de l'induction dans l'air et dans les gaz.

Ce témoignage, nous le devons à la *mesure absolue des grandeurs électriques*, et par là se trouvent amplement justifiées les considérations qui ont déterminé l'adoption d'un système d'unités électriques dérivant des trois unités fondamentales de la mécanique.

EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ

SECTION FRANÇAISE.

PAVILLON DU MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.

L'Exposition internationale d'électricité a été ouverte le 11 avril 1881, et l'on sait quel est son succès. Elle a été complétée par un congrès des électriciens dans lequel des décisions importantes ont été prises, notamment en ce qui concerne les *unités électriques.* Nous nous proposons d'y revenir dans les prochains numéros; nous nous bornerons pour le moment à donner la liste complète des objets exposés dans le pavillon du ministère des postes et des télégraphes français.

ANCIENS MODÈLES.

Ancien appareil français à deux indicateurs et un régulateur.

Le régulateur indique la clef à laquelle se rapporte la lecture.

Ancien appareil français à un seul indicateur (Breguet).

Ancien télégraphe français (système Pouget).

Poste complet avec paratonnerre, galvanomètre et commutateur. Le manipulateur porte sur son pourtour quatre petits contacts métalliques qui viennent successivement se mettre en relation avec un petit cylindre métallique horizontal. Le levier est mobile sur un

disque portant huit entailles destinées à recevoir une saillie et à le maintenir immobile.

Appareil à cadran de M. Cacheleux,

reproduisant les lettres ou les signaux du télégraphe Chappe.

APPAREILS A CADRAN.

Poste à cadran pour deux directions.

Modèle des chemins de fer de l'État.

Le poste complet, avec toutes ses communications, est enfermé dans une boîte portative comprenant : un manipulateur, un récepteur à cadran, deux sonneries, deux paratonnerres à fil, deux galvanomètres.

Récepteur à cadran de M. Guyot (Abel).

Le réglage est évité au moyen de deux électro-aimants verticaux et d'un levier portant deux armatures polarisées qui, sous l'influence du courant, bascule comme un levier de balance.

Manipulateur à cadran à inversion de courant (Digney),

produisant l'inversion du courant à chaque émission.

Récepteur à cadran sans réglage de M. Digney.

L'armature oscille entre les deux pôles d'un électro-aimant polarisé.

Anciens manipulateurs à cadran de M. Bréguet.

Le mouvement alternatif de la tige qui donne les contacts est produit par un disque denté.

Poste à cadran avec accessoires.

(Paratonnerres, galvanomètre, commutateurs, sonnerie.)

Poste à cadran complet,

construit par MM. Digney frères en 1862 et destiné à l'empereur du Maroc.

En regard des signaux français se trouvent les signaux arabes correspondants.

APPAREILS MORSE.

Récepteur Morse Bréguet,

à pointe sèche, à relais et à ressort.

Récepteur Morse Bréguet,

à pointe sèche, sans relais.

Récepteur Morse Digney,

à pointe sèche et relais, à poids, armature cylindrique.

Récepteur Morse Mouilleron,

à pointe sèche, sans relais, armature plate.

Récepteur Morse Mouilleron,

à pointe sèche, à relais, à mouvement d'horlogerie, armature plate.

Récepteur Morse Cacheleux,

à pointe sèche et à relais avec sonnerie d'appel.

Récepteur Morse (1858), modèle de l'Administration,

à pointe sèche et à relais avec commutateur permettant de bifurquer le courant dans les bobines.

Récepteur Morse (Digney, 1857),

à molette et à relais.

Récepteur Morse (Digney),

à molette mobile, sans relais.

Récepteur Morse (Digney) à molette et à relais.

Transformation d'un récepteur Mouilleron à pointe sèche.

Récepteur Morse de Bréguet,

à molette et à relais, levier sur couteau.

Récepteur Morse, système Cacheleux (1854),

à tireligne, relais et sonnerie.

Récepteur à molette sans relais de M. Abel Guyot,

à levier brisé pour assurer la translation.

Récepteur Morse à déclenchement automatique, déclenchement intérieur et relais.

Récepteur Morse à déclenchement automatique, système Anfonso (1863), à déclenchement extérieur et relais.

Récepteur Morse à déclenchement automatique, sans relais, système Meyer (1863).

Récepteur Morse à déclenchement automatique de Leydier (1876).

Une ailette attachée au rouet est arrêtée par une pièce de l'armature et déclenchée dès que le courant passe.

Récepteur Morse à déclenchement automatique, modèle des ateliers de l'Administration (1860).

Récepteur Morse Dumoulin-Froment, à électro-aimant mobile.

Appareil Morse portatif de MM. Rault et Chassan (1875).

Poste complet comprenant : récepteur, manipulateur, paratonnerre, galvanomètre et commutateurs, le tout monté sous un très petit volume dans une boite. Un modèle spécial d'encrier permet de mouiller constamment la molette. Les noyaux de l'électro-aimant sont mobiles, et une vis les déplace pour régler l'appareil.

Appareil Morse Rault et Chassan à encrage automatique (1877).

L'encrier est au-dessus du tampon et un petit piston fait régulièrement sortir une goutte d'encre. L'électro-aimant est à noyaux mobiles. Le volant du mouvement d'horlogerie peut se régler à volonté.

Appareil Morse portatif de MM. Gaiffe et Darlot.

Appareil Morse portatif de M. Digney (1865).

Poste complet pour télégraphie militaire.

Appareil Morse portatif de M. Charles (1864).

Poste complet avec sa boîte.

Installation ordinaire de deux postes Morse.

Les récepteurs sont du modèle le plus récent.

Installation de trois postes Morse embrochés.

Les trois postes communiquent entre eux à volonté.

Installation Morse en duplex (système différentiel).

Deux postes complets avec les résistances additionnelles.

Ce système permet d'envoyer simultanément et dans les deux sens des dépêches par le même fil. Le courant se bifurque au départ, traverse en sens contraire les bobines du récepteur, et, par suite, n'actionne pas l'armature qui n'est attiré que si un courant envoyé par le poste correspondant vient détruire l'équilibre.

Installation Morse duplex à courant continu (système Mandroux).

Deux postes complets avec leurs résistances.

Transmission de deux dépêches dans le même sens par un seul fil (1er système Sieur).

L'installation comprend : deux Morse, un relais Sieur, deux rhéostats.

Les deux manipulateurs peuvent envoyer sur la même ligne : le premier, un courant d'intensité 1; le deuxième, un courant contraire d'intensité 3; la superposition des deux courants donne l'intensité 2. La ligne aboutit à un relais polarisé à deux armatures dont l'une est sensible aux intensités 1 et 2, l'autre aux intensités 2 et 3. Chacune des armatures actionne un récepteur.

Cette installation montée en duplex donne un système de transmission quadruple.

Transmission de deux dépêches dans le même sens par un seul fil (2e système Sieur 1872).

Une roue tournant très vite envoie sur la ligne des émissions alternativement positives et négatives. Ces émissions traversent un double relais polarisé dont chaque armature peut vibrer sous l'action d'un seul des deux courants. L'armature en vibrant ne touche aucun buttoir. Si la manipulation interrompt un des courants, l'armature correspondante s'arrête, touche son buttoir, et le relais fonctionne.

Appareil Morse à transmission automatique et à composition préalable de M. Digney, imaginé en 1859.

Cet appareil à composition préalable comprend : un perforateur, un transmetteur et un récepteur.

Perforateur à une seule touche, portant un emporte pièces, découpant des trous longs ou courts sur une bande de papier.

Perforateur à trois touches donnant l'une des points, l'autre des

traits, la troisième faisant avancer le papier. Les trous correspondent aux traits et aux points sur deux lignes parallèles.

Transmetteur simple. — Une pointe pénétrant dans les trous du papier fait osciller une lame entre les deux buttoirs. Les contacts de cette lame lancent les courants.

Transmetteur double, pour une bande perforée par le second perforateur. — La pointe et la lame sont doubles.

On peut utiliser avec le premier un récepteur Morse ordinaire, et l'on se sert pour le second d'un récepteur à deux styles.

Il existe à l'Exposition un appareil à double face, comprenant à la fois le transmetteur et le récepteur pour l'emploi d'un seul style.

Manipulateur Morse (Breguet).

Manipulateur Morse à ressort (1875).

Manipulateur Morse, modèle de l'Administration,

avec commutateur de pile et de translation. (Deux modèles différents, 1858.)

Manipulateur Morse à contacts doubles.

Manipulateur Morse à levier brisé (1861)

Pour transmission par courant continu.

Manipulateur Morse (Parthenay)

Avec commutateur à manette.

Manipulateur Morse à quatre directions de M. Chassan (1868).

Pour communiquer simultanément avec quatre postes.

Manipulatenr à crayon de M. Ailhaud, neuf modèles.

On trace sur le papier des traits et des points, la pression donnée au crayon déplace une lame entre deux buttoirs et produit l'émissions du courant sur la ligne.

Manipulateur Morse à clavier de M. Ailhaud,

Comprend un clavier sur les touches duquel sont inscrites toutes les lettres de l'alphabet; chaque touche abaissée met une pièce de contact en présence d'un cylindre sur lequel sont incrustés les signaux Morse. Dans le premier système, les lettres étaient inégalement espacées. Dans les systèmes suivants, M. Ailhaud a obvié à cet inconvénient.

Manipulateur Morse circulaire de M. Nacfer.

Ce manipulateur est à cadran et porte huit divisions dont quatre correspondent à l'envoi du courant. On transmet des points ou des traits selon que l'on franchit rapidement ces divisions ou qu'on s'y arrête un instant.

RELAIS ET APPAREILS DE RAPPEL.

Relais à double effet de Froment.

Relais translateur de Froment.

Relais Dutertre.

Les armatures sont fixes et les noyaux mobiles.

Relais double Mouilleron.

Relais translateur, Bourbon.

Relais Morse, à armatures aimantées.

Relais Bréguet, à électro-aimant horizontal.

Relais translateur, de M. Abel Guyot.

Relais différentiel pour duplex.

Relais à armatures aimantées.

Relais de M. Darcq.

Quand le relais fonctionne avec un certain sens du courant, le circuit local de la sonnerie est fermé; lorsque le sens du courant est changé, la sonnerie reste au repos.

Relais de M. Breguet,

pour sonneries.

Relais sans réglage de M. Sambourg (1858).

L'armature oscille entre deux électro-aimants bifurqués; l'un est à deux bobines et le second n'en porte qu'une seule. Le courant d'une pile locale traverse une des bobines du premier électro-aimant, et polarise l'armature. Les deux autres bobines sont traversées par le courant de ligne, dont l'effet dans les bobines et sur la palette est contraire à celui de la pile locale. L'armature oscille et ferme un circuit.

Relais translateur pour deux lignes, de Bréguet.

Relais de M. Marcillac, pour lignes souterraines.

Une petite bobine très légèrement suspendue oscille entre les pôles de deux électro-aimants polarisés; les contacts s'établissent entre deux pointes et deux petits godets de mercure envoyent des courants alternés dans le récepteur.

Relais de M. d'Arlincourt.

Ce relais permet d'effectuer des translations dans deux directions opposées : son principe est basé sur l'emploi de quatre électro-aimants à armatures polarisées. Les palettes de deux d'entre eux peuvent se mouvoir d'une façon symétrique par rapport aux pôles qui agissent dissymétriquement, et donnent, à la fin de chaque translation d'un signal, un *coup de fouet* qui décharge la ligne en la mettant à la terre. Deux parleurs et deux manipulateurs intercalés dans le circuit permettent de communiquer avec les postes extrêmes.

Relais transmetteur de M. Héquet.

Électro-aimants à culasse coupée et mobile; décharge obtenue mécaniquement; la ligne se trouve mise à la terre un instant avant et après chaque émission. Un système spécial de réglage permet d'avoir une tension plus forte du ressort antagoniste à mesure que l'armature se rapproche des pôles. Ce relais est utilisé au poste central entre Marseille et Londres.

Parleur ordinaire.

Parleur militaire (modèle 1872).

Parleur militaire de M. de la Presle.

Un petit commutateur permet de s'en servir à volonté pour la transmission à courant ordinaire ou pour celle à courant continu.

Parleur à une bobine et noyau mobile, modèle des ateliers de l'Administration (1875).

Parleur avertisseur de M. Gras (1878).

Des commutateurs permettent de changer instantanément les communications et de faire varier la résistance de la bobine.

Appareil de rappel à déclenchement de M. de Meaux.

Indicateur de sonnerie de M. Lorin.

Employé pour le rappel des bureaux municipaux.

Rappel par inversion de M. Vinay.

Indicateur de M. Olsen, télégraphiste à la Rochelle,

faisant connaître d'où partent les rappels de nuit. Un voyant détaché par l'appel tombe devant une fenêtre et ferme le circuit d'une sonnerie.

Rappel de M. Callaud.

Le manipulateur est construit comme celui du télégraphe à cadran et produit des émissions successives. Dans chaque récepteur, la première émission reçue ferme le circuit de sonnerie, la deuxième l'ouvre et se transmet au poste suivant. Il suffit, pour appeler un poste, de placer la manette sur le numéro correspondant.

Rappel à sonnerie de MM. Grassi et Beux (1878)

Sans aimant et sans courant continu, destiné à rappeler les postes.

Rappels à tiges vibrantes de M. de Coincy.

Cinq appareils, deux pour têtes de ligne, trois pour postes intermédiaires, permettant à un poste de communiquer séparément avec plusieurs autres échelonnés sur un fil.

L'appareil tête de ligne consiste en une tige vibrante de longueur *variable* dont le mouvement est entretenu par un électro-aimant. Cette tige lance sur la ligne des courants interrompus.

A chacun des postes intermédiaires, les courants traversent une bobine dont l'armature est une tige vibrante de longueur fixe qui forme relais et actionne la sonnerie.

Lorsque le poste tête de ligne veut communiquer avec un autre poste, il donne à sa tige la longueur connue, vibrant à l'unisson de la tige qu'il veut ébranler. Le poste appelé est seul actionné, toutes les autres tiges restent muettes.

M. l'abbé Laborde a fait en 1860, à l'Institut, une communication au sujet d'un système télégraphique reposant sur le même principe (*Annales télégraphiques* de 1860, p. 427.)

Galvanomètre rappel de M. Estienne (1864).

La branche de cuivre de l'aiguille établit un contact lorsque le courant atteint une certaine intensité.

Électro-aimants de M. Héquet.

Deux modèles différents. — Dans le premier, la culasse est coupée et l'une des parties peut être plus ou moins rapprochée de l'autre, ce qui constitue un mode de réglage. — Dans le dernier, la culasse est indépendante des noyaux sous les extrémités desquels on peut la faire glisser, de façon ou à établir un contact métallique

ou à n'avoir d'influence qu'à travers de petites lames d'ébonite encastrées convenablement dans la culasse.

Ces deux systèmes diminuent considérablement l'intensité du magnétisme rémanent. — Un cadran et un Morse, munis de ses électro-aimants, permettent la comparaison.

Appareil avertisseur de rappel de M. Petit.

Poste central avec cadran et poste secondaire. — Pour donner l'alarme il suffit de presser un bouton au poste secondaire pour que la sonnerie fonctionne aux deux postes, jusqu'à ce que l'on ait également pressé un bouton au poste central. — Pour que le poste d'appel signale son numéro d'ordre, il abaisse une touche qui permet l'envoi automatique, au moyen d'une roue à cames, d'autant de courants successifs de sonnerie qu'il en faut pour que l'aiguille du cadran arrive devant le numéro d'ordre au poste central.

Système de translation pour télégraphie militaire (1875).

Montage de deux parleurs.

APPAREILS IMPRIMEURS.

Appareils Hughes ordinaire avec l'échappement mécanique de la détente, de MM. Terral et Mandroux.

Appareils Hughes montés en duplex.

Ces appareils, construits d'après le modèle adopté par l'administration et mis en mouvement par des turbines (système Humblot), sont disposées de façon à permettre l'échange *simultané* de dépêches dans les deux sens, par le même fil. La méthode employée est celle du pont de Wheatstone.

Appareil Hughes, duplex de M. Terral.

Appareil à double face, comportant le transmetteur et le récepteur. Il est disposé mécaniquement et électriquement pour transmission simultanée en sens contraire. Pas de ligne factice.

Appareil Hughes (système Demanet).

Appareils Hughes à clavier mobile, modèle des ateliers de l'Administration.

Cet appareil ne diffère de l'appareil réglementaire qu'en ce que le clavier et la boîte à goujons peuvent être enlevés très facilement. Il suffit de retirer les deux vis qui accompagnent le clavier.

Appareil imprimeur de M. Olsen.

Cet appareil, qui dérive de Hughes, est basé sur le synchronisme de deux roues des types, l'une au départ, l'autre à l'arrivée. Il peut servir à la transmission directe au moyen d'un manipulateur à clavier, ou à la transmission automatique au moyen d'un perforateur qui prépare la dépêche sur une bande de papier. Ce dernier système correspond au rendement maximum.

L'organe électro-magnétique, comprenant une bobine simple, deux armatures et un aimant artificiel, assure un fonctionnement plus rapide que celui du Hughes : la vitesse peut donc être supérieure. En outre, par suite de cet accroissement de vitesse, les écarts du synchronisme pouvant atteindre des limites plus étendues, la circonférence de la roue correctrice a été divisée en quinze parties (au lieu de vingt-huit comme dans le Hughes), ce qui permet à la came correctrice de corriger des écarts presque doubles (1/30 au lieu de 1/56). Chaque poste comprend trois appareils distincts : appareil récepteur et transmetteur, organe automatique, perforateur.

Les goujons, au nombre de vingt-huit, sont alternativement reliés à l'un ou l'autre des pôles de la pile locale, de façon que l'impression d'un même caractère a toujours lieu sous l'influence d'un même courant, dont le sens change d'un goujon à l'autre.

Le perforateur est muni d'un clavier. Trois poinçons perforent des trous sur une bande de papier. Les trous perforés par le premier sont destinés à établir le passage du courant positif; ceux perforés par le second établissent la communication avec le pôle négatif; enfin, ceux produits par le troisième, qui est plus fin, caractérisent le blanc des lettres, en sorte que, si l'on appuie sur la touche du blanc, on fait agir deux poinçons, et un second trou est perforé à côté du trou perforé par le poinçon négatif. Une perforation exige un tour entier de l'axe.

Appareil imprimeur Rouvier.

Modification de l'appareil Hughes par l'emploi de courants positifs et négatifs. Les deux roues des types correspondent, comme dans l'appareil Olsen, aux deux sens de courant, cette disposition permet de leur donner une vitesse de rotation plus grande et d'obtenir une transmission plus rapide.

Appareils de M. Dujardin.

Appareil imprimeur (1er *type*). — Le manipulateur est du modèle dit *à cadran*. Sa manivelle émet, en tournant, des courants alternatifs se succédant sans interruption et qui ont pour effet de faire progresser la roue du poste récepteur d'un angle correspondant à celui dont le transmetteur se déplace. Lorsqu'on abaisse la manivelle, aucun courant ne passe sur la ligne, et l'impression a lieu à l'arrivée.

La roue des types du récepteur est mue par un mécanisme d'hor-

logerie, dont la marche est entravée par l'armature polarisée d'un électro-aimant en relation avec la ligne. Chaque oscillation de cette palette laisse avancer la roue d'une division. Lorsque celle-ci présente au papier la lettre voulue, l'impression se produit sous l'action d'un électro-aimant dont le circuit est alors fermé par une deuxième armature très légère, située à l'extrémité postérieure de l'électro-aimant de ligne et qui n'abandonne cette position qu'au moment où aucun courant n'est envoyé par le poste transmetteur.

Appareil imprimeur (2e type). — Le manipulateur est formé d'un axe armé de chevilles implantées en hélice et susceptibles d'être arrêtées au passage par les touches correspondantes d'un clavier alphabétique situé au-dessus d'elles.

Une pédale analogue à celle des machines à coudre transmet à l'axe un mouvement de rotation continu pendant lequel un commutateur fixé sur cet arbre émet sur la ligne des courants alternatifs. Ces courants commandent à l'arrivée le débit de la roue des types. La rencontre d'une cheville par la touche du même rang abaissée par l'opérateur prolonge l'émission du dernier courant et fixe l'armature polarisée du récepteur et conséquemment la roue des types dans la position qu'elles occupent alors. A ce moment, un échappement, dont le jeu était entravé par le mouvement même de la roue des types, fonctionne, et l'impression se produit mécaniquement.

Premier appareil à signaux conventiels. — Les lettres sont représentées par des points convenablement groupés, tracés à l'encre sur une feuille de papier. Le transmetteur est un manipulateur magnéto-électrique. L'armature du récepteur est polarisée. Cet appareil a fonctionné à titre d'essai entre Paris et Lille en 1849.

Nouvel appareil à signaux conventionnels. — Cet appareil produit les signaux à l'aide de points convenablement groupés, imprimés sur une bande de papier.

Le manipulateur est formé d'un cylindre horizontal mis en mouvement par une pédale d'une machine à coudre et qui commande un commutateur inverseur des courants. Ce cylindre porte vingt-huit disques métalliques dont la circonférence est divisée en saillies correspondant au nombre et aux signaux à produire. Ces signaux sont recueillis et lancés sur la ligne à l'aide des touches d'un clavier.

L'organe essentiel du récepteur comprend une armature aimantée dont l'extrémité libre porte une molette encrée par un tampon : les courants de nom voulu amènent cette molette contre la bande de papier sur laquelle elle trace un point ; ceux de nom contraire l'en éloignent.

Appareil imprimeur de M. d'Arlincourt.

Le manipulateur et le récepteur sont réunis.

Des touches correspondant aux différents caractères sont disposées en cercle sur le manipulateur. Quand on abaisse l'une d'elles, une aiguille tourne au centre du cadran, en vertu d'une disposition analogue à celle des trembleurs, et est arrêtée mécaniquement en face de

la touche abaissée. Cette rotation est produite par une dérivation du courant de ligne.

Au poste correspondant, les émissions successives du courant de ligne, agissant sur un électro-aimant récepteur, font tourner une aiguille identique, qui finalement s'arrête en face de la même lettre.

A ce moment intervient un second électro-aimant. Grâce à un réglage convenable et à la rapidité des émissions du courant, celui-ci ne peut faire mouvoir l'armature de l'électro-aimant en question, pendant la rotation des deux aiguilles. A l'instant de l'arrêt, le courant agit avec toute son intensité et fait soulever un marteau contre la lettre correspondante d'une roue de types qui suit les mouvement des aiguilles.

APPAREILS ÉLECTRO-CHIMIQUES ET AUTOGRAPHIQUES.

Appareil Morse électro-chimique de M. Pouget,

avec relais et pile locale.

Appareil rapide à composition préalable de MM. Chauvassaignes et Lambrigot;

et comprenant trois parties : le composteur, le transmetteur et le récepteur.

Le composteur est un appareil Morse fonctionnant en local et imprimant au moyen de résine des traits et des points sur une bande de papier métallique ; la molette, chauffée par une petite lampe, pénètre dans le réservoir à résine et s'imprègne de matière isolante.

Le transmetteur et le récepteur sont réunis.

Pour transmettre on fait passer la bande préparée sous un style frotteur; le papier métallique étant en relation avec la terre et le style avec la pile et avec la ligne, le courant n'est envoyé au poste correspondant que quand ce dernier passe sur les signaux marqués par la résine.

La réception se fait par décomposition chimique ; une bande de papier, constamment sensibilisée par une molette imprégnée d'une dissolution d'iodure de potassium, reçoit une trace à chaque passage du courant.

Pantélégraphie Caselli à pendule régulateur.

Appareil autographique électro-chimique. Un courant local émis périodiquement par un pendule réglé, par l'intermédiaire de forts électro-aimants, les oscillations d'un grand balancier qui commande le style parcourant le dessin. Le style métallique décrit des lignes droites parallèles et très rapprochées, chaque fois qu'il rencontre un trait du dessin qui a été exécuté avec de l'encre isolante sur du papier métallique, un courant est envoyé sur la ligne, suit le style de

l'appareil récepteur qui est animé du même mouvement que celui du départ et décompose par son passage à travers le papier la substance chimique dont il est imprégné. On obtient ainsi à l'arrivée un trait d'une longueur égale à celle qui a été parcourue au départ.

Appareil autographique Lenoir (1864).

Appareil électro-magnétique. Le récepteur est une plume actionnée par un électro-aimant à armatures polarisées, et dont le mouvement de translation est le même que celui du style du départ. Le papier métallique transmetteur et le papier récepteur sont enroulés sur des cylindres égaux marchant synchroniquement. On règle ce synchronisme par une disposition correctrice spéciale utilisant l'action d'un électro-aimant sur un disque de fer doux qui forme la partie intérieure du volant de l'appareil.

M. Lenoir est arrivé à reproduire des épreuves photographiques obtenues sur papier métalliques.

Appareil autographique d'Arlincourt.

Appareil électro-chimique. Le synchronisme est obtenu par un système de deux tiges vibrantes formant diapason.

Les papiers de transmission et de réception sont égaux, mais enroulés sur des cylindres inégaux. Pour obtenir une reproduction exacte, les vitesses angulaires des cylindres doivent être en raison inverse de leurs rayons. La lacune existant dans la conductibilité de ces cylindres permet l'envoi d'un courant régulateur qui, issu du *récepteur*, opère le déclenchement du mécanisme de départ, immobilisé, dans le cas contraire, à la fin de chaque tour du cylindre. On obtient par ce moyen un synchronisme parfait.

Appareil autographique Meyer.

Appareil autographique *électro-magnétique*. Synchronisme obtenu à l'aide d'un pendule conique qui règle le mouvement d'horlogerie de l'appareil.

Au départ, un style de platine, animé d'un mouvement de translation très lent, décrit une hélice à pas très serré sur un dessin exécuté à l'encre isolante et enroulé sur un cylindre entraîné par le mouvement d'horlogerie.

A l'arrivée, un autre cylindre tourne sur un axe parallèle à l'arête d'un cadre qui porte une large bande de papier. Ce cylindre est armé d'une nervure hélicoïdale d'un pas égal à sa longueur. Les deux cylindres (départ et arrivée) déroulent synchroniquement; les points de l'hélice du récepteur viennent passer successivement en face du papier suivant une ligne droite qui représente le développement de la spire décrite par le style transmetteur autour du cylindre de départ.

Chaque fois que le style rencontre le trait du dessin, le courant est envoyé sur la ligne et, grâce à un électro-aimant, le châssis qui

supporte le papier à l'arrivée est jeté contre l'hélice qui est constamment imprimée d'encre et qui trace un trait égal au premier et symétriquement situé.

APPAREILS A TRANSMISSION RAPIDE.

Appareil Wheatstone.

Cet appareil comprend à chaque poste : un perforateur, un transmetteur et un récepteur.

La dépêche à transmettre est d'abord composée en signaux au moyen du perforateur. Trois touches abaissées produisent sur une bande de papier huilé : la première, deux gros trous sur une perpendiculaire à la longueur de la bande et un petit trou au milieu; ces deux gros trous représentent le point de l'alphabet Morse; la seconde fait percer à égale distance des bords un petit trou qui sert à l'avancement du papier; enfin la troisième, deux gros trous sur une oblique de 45°, inclinée de gauche à droite, et deux petits trous dans la rangée du milieu; c'est le trait de Morse.

La bande ainsi préparée est soumise au transmetteur. Cet appareil, au moyen d'un jeu alternatif de deux aiguilles pouvant rencontrer dans leur course les gros trous de la bande perforée, et d'un organe spécial inverseur de courants, envoie sur la ligne des courants alternativement positifs et négatifs, à des intervalles plus ou moins rapprochés, suivant les positions relatives des gros trous de la bande.

La partie essentielle du récepteur est un électro-aimant polarisé dont l'armature, attirée par un courant, ne revient à sa position première que sous l'influence du courant contraire. Suivant la durée de l'intervalle séparant l'émission des deux courants inverses, le récepteur imprime un trait ou un point sur une bande de papier qui se déroule devant une molette.

A côté du perforateur ordinaire se trouve un perforateur *pneumatique*, où l'abaissement des touches est produit par la pression de l'air, dont l'émission est réglée par la manipulation d'un petit clavier à trois touches.

Appareil multiple à signaux conventionnels de Meyer,

basé sur la division du temps, c'est-à-dire qu'il y est assigné à chaque transmission un intervalle de temps égal pendant chaque révolution d'un organe distributeur qui tourne constamment. Dans une seconde, par exemple, le premier quart de seconde sert à la transmission de la première lettre d'un mot, et les trois autres quarts à la transmission indépendante de trois premières lettres de trois autres mots; le premier quart de la seconde suivante est occupé par la transmission de la deuxième lettre du premier mot, et ainsi de suite.

L'appareil exposé est à quatre transmissions. La ligne est mise successivement à la disposition de quatre employés, ce qui donne le temps de préparer à la main le signal à transmettre.

Le passage de la ligne d'un appareil à l'autre aux stations correspondantes s'effectue au moyen de deux distributeurs divisés en quatre secteurs et devant chacun desquels tourne une aiguille munie de frotteurs en communication avec le fil de ligne.

Chaque secteur comprend douze contacts reliés soit aux touches du manipulateur, soit à la terre pour décharger la ligne.

Les récepteurs se composent de cylindres qui sont animés du même mouvement de rotation que l'aiguille du distributeur, et dont chacun porte en saillie, dans le sens longitudinal, un quart d'hélice imprégné d'encre correspondant à un secteur de la circonférence. C'est le même principe que dans l'appareil autographique du même inventeur. Un relais, placé à chaque station entre le distributeur et la ligne, est traversé par tous les courants, et ferme ou ouvre le circuit d'une pile locale qui a pour effet, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, de presser une large bande de papier contre l'hélice du récepteur correspondant au secteur en ce moment parcouru par le ressort de la ligne. Le système peut s'appliquer au service simultané de plusieurs bureaux ou de plusieurs villes par un seul conducteur; l'appareil qui figure à l'Exposition a été précisément disposé dans ce but par M. Willot. Il doit être placé à un poste intermédiaire. Une simple manœuvre de commutateur permet d'obtenir diverses combinaisons dans les communications des bureaux entre eux. — Le synchronisme est obtenu par un régulateur analogue à celui de l'appareil Hughes, mais disposé verticalement. Un système correcteur rectifie les écarts à chaque tour.

Appareil multiple Meyer et récepteurs indépendants.

Contrairement à ce qui se passe dans le système précédent, les récepteurs sont ici indépendants les uns des autres, indifféremment pour des transmissions quadruples, septuples, etc.

L'hélice de chaque récepteur est mue par un mouvement d'horlogerie qu'un contact du distributeur fait déclencher au moment opportun.

Appareil à transmission multiple de M. Willot.

La disposition de l'appareil permet de mettre en communication simultanée plusieurs villes desservies par le même fil. Le principe est le même que celui de l'appareil de M. Meyer, mais le récepteur est disposé de façon à reproduire les signaux sur une bande Morse ordinaire. Un électro-aimant fait déclencher un rouage spécial qui n'entraîne la bande que le temps nécessaire à l'impression du signal.

Appareil multiple imprimeur Baudot.

Le distributeur est divisé en six secteurs; chacun de ces secteurs

comporte cinq pièces de contact égales, sur lesquelles passe successivement un frotteur en relation avec la ligne : au départ, les cinq contacts de chaque secteur sont reliés aux cinq touches qui constituent le manipulateur, et à l'arrivée à cinq relais. En abaissant les touches suivant une combinaison quelconque, on envoie successivement le courant dans les relais qui leur correspondent, et l'on reproduit ainsi à l'arrivée la combinaison du départ. Ces combinaisons sont reproduites en caractères imprimés sur une bande de papier par l'intermédiaire d'un organe spécial appelé combinateur.

Cet appareil est celui qui réalise la plus grande vitesse de transmission; à l'Exposition, six récepteurs marchent simultanément avec la plus grande régularité.

APPAREILS POUR LA TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE.

Appareils Hughes disposés pour la transmission sur les câbles sous-marins.

Essais commencés en 1877 par M. Aflhaud, continués en 1881 par M. Mandroux, sous la direction de M. Belz, directeur ingénieur à Marseille. — Des appareils construits avec cette disposition fonctionnent sur les câbles entre Marseille et l'Algérie.

La pièce caractéristique de cet appareil est un petit distributeur composé d'un certain nombre de secteurs métalliques parcourus par une aiguille qui communique avec le câble. Une des armatures d'une batterie de condensateurs est reliée à un petit levier qui oscille entre deux butoirs communiquant l'un avec le pôle positif de la pile, l'autre avec la terre. Le câble est relié à l'autre armature du condensateur. Le premier secteur que parcourt l'aiguille comprend les 5/12 du distributeur; il est isolé. Pendant tout ce trajet, le levier est en communication avec la pile. Il y a donc émission d'un courant positif : une face du condensateur se charge positivement, l'autre négativement, ce qui provoque un courant positif sur la ligne. Le levier touchant ensuite le butoir de terre, le condensateur se décharge, et un courant négatif est émis dans le câble. L'aiguille parcourt ensuite un secteur qui communique à la terre à travers une résistance, puis un autre secteur qui est directement à la terre, et le câble est ainsi déchargé. Un galvanomètre à miroir très sensible indique l'état du câble après chaque émission transmise ou reçue, et permet de régler avec précision les compensations. Le courant émis dans le câble actionne un relais polarisé de Mandroux.

L'appareil récepteur possède également un distributeur analogue au précédent, mais divisé différemment. Au départ, l'aiguille se trouve sur un petit secteur en ébonite, et le relais recevant tout le courant fonctionne. L'aiguille parcourt ensuite différents secteurs qui sont en communication avec la terre, puis avec une pile de

décharge et enfin avec la terre. Le câble est ainsi déchargé par les deux bouts.

Galvanomètre à miroir, pour le service en duplex sur les câbles entre Marseille et Alger.

L'équilibre de l'état permanent est obtenu par un pont de Wheatstone ordinaire. Pour équilibrer les phénomènes de charge et de décharge, une ligne factice aboutit à l'une des faces d'un condensateur; l'autre face est reliée à un fil qui traverse une résistance et est enroulé autour du galvanomètre en sens inverse du premier fil, pour aller de là à la terre.

Cet appareil, avec cette disposition, a fonctionné sur le câble de 1871 depuis le mois de novembre 1876 jusqu'à la rupture du câble en 1879. Il fonctionne aujourd'hui sur les câbles de 1879 et de 1881.

Relais polarisé différentiel de M. Mandroux pour les essais de transmission duplex à translation (système de M. Barbarat) faits sur les câbles d'Antibes à Saint-Florent.

Il se compose de quatre bobines opposées deux à deux. L'armature aimantée par un fort aimant se meut entre les deux couples de bobines. La ligne réelle traverse les deux bobines supérieures, la ligne factice les deux bobines inférieures en sens inverse. De cette manière, si l'on émet un courant qui donne à une des bobines supérieure un pôle nord, il se développera dans la bobine inférieure du même couple un pôle sud de même intensité et l'action résultante des deux bobines sur la palette sera nulle.

Clef double pour transmission sous-marine.

On envoie sur la ligne un courant positif ou un courant négatif, suivant que l'on appuie sur un bouton ou sur l'autre.

Commutateur verrou pour transmission sous-marine.

Cet instrument, employé dans la transmission sous-marine, sert pour le passage du transmetteur au récepteur.

Caisses de résistance.

Elles se composent d'une série de bobines de résistance connue. Les extrémités du fil de chaque bobine sont soudées à deux plaques de cuivre séparées les unes des autres par des trous que l'on peut boucher avec des chevilles de laiton à tête isolante. On introduit une bobine dans le circuit en retirant la cheville du trou correspondant.

Galvanomètre à miroir de Thomson.

Galvanomètre astatique à réflexion. Le miroir, en réfléchissant un faisceau lumineux, permet de lire les déviations de l'aiguille amplifiées sur un écran gradué.

GALVANOMÈTRES, COMMUTATEURS, SONNERIES, PARATONNERRES, ETC.

Galvanomètre vertical de Molteni.

Galvanomètre vertical de Mouilleron.

Galvanomètre horizontal.

Galvanomètre différentiel de Loiseau.

Galvanomètre Chatellun.

La bobine est en forme de cocon et enveloppe complètement l'aiguille aimantée.

Galvanomètre d'embarcation,

aiguile suspendue à la Cardan.

Galvanomètre à deux niveaux.

Boussole de sinus pour marine.

Suspension à la Cardan.

Boussole de sinus d'expériences.

Boussole de tangentes.

Boussole de sinus à zéro variable de M. Lagarde.

Commutateur suisse modèle de l'administration,

à 10 fils (1858).

Commutateur bavarois,

pour postes d'écluses.

Commutateur rond.

Commutateur inverseur double.

Commutateurs suisses à 3 et 5 fils.

Commutateur inverseur.

Commutateur bavarois.

Commutateur de M. Charles à 5 fils.

Pièces diverses d'appareils.

Bornes de divers modèles, volants, guide-papiers, etc.

Sonnerie à déclenchement avec mouvement d'horlogerie.

Sonnerie aimantée de M. Blanc,

pour rappel par inversion des courants.

Sonnerie pendulaire de rappel de M. Abel Guyot.

Ancienne sonnerie à mouvement d'horlogerie de M. Breguet.

Le passage du courant de ligne fait déclencher un mouvement d'horlogerie. Le tintement dure jusqu'à ce que la paroi de la boîte arrête un petit bouton métallique fixé à l'extrémité d'un fil qui s'enroule autour d'un barillet horizontal, dont la rotation est entretenue par le mécanisme d'horlogerie.

Sonnerie de M. Aubine.

L'armature, au repos, est solidaire d'un levier qu'un ressort sollicite de haut en bas, et qui tombe dès que l'armature qui le soutient est attiré. Cette chute ferme le circuit local.

Sonnerie à trembleur à grande résistance.

Installée sur un long circuit, elle doit fonctionner sous l'action de faibles courants. La construction en est plus soignée et les pièces en sont plus délicates que pour les sonneries ordinaires.

Sonnerie polarisée à trembleur de M. Bourseul;

ne fonctionne que lorsque le courant a une direction déterminée.

Sonnerie à trembleur et à courant continu.

Le courant de ligne, passant dans un électro-aimant, attire son armature qui porte le marteau frappeur. Il se produit alors un déclenchement qui donne naissance à un circuit local à travers la sonnerie; celle-ci tinte dès lors comme une sonnerie à court circuit jusqu'à ce qu'on l'arrête.

Paratonnerre à fil préservateur et à pointes mobiles.

Paratonnerre à peigne.

Paratonnerre à pointes et à fils,

pour deux directions.

Paratonnerre Testut,

à pointes mobiles, deux directions.

Paratonnerre Sarrazzy.

à fil préservateur.

Paratonnerre Bertsch,

à 6 fils. L'écoulement à la terre se fait entre une pointe et un fil.

Paratonnerre à pointes de Bertsch.

La foudre a fondu les pointes du paratonnerre.

Paratonnerre Montagnole (1870).

Le fil, lorsqu'il est brûlé par l'étincelle électrique, laisse tomber un marteau qui met le fil de ligne à la terre.

Paratonnerre à métal fusible de M. Beaufils,

sert en même temps d'avertisseur.

Paratonnerre Pouget.

à fil et à pointes.

Paratonnerre à alcool.

Deux cylindres métalliques sont séparés par de l'alcool, à travers lequel se fait la décharge.

Paratonnerre Masson.

Cylindre hérissé de pointes enveloppé dans un autre cylindre.

Paratonnerre Lainette.

Un fil métallique tendu est brûlé par la foudre et débande un ressort qui met la ligne à la terre.

Paratonnerres de M. Germain.

à fils, à pointes et à feuilles.

Condensateur de 5 1/2 microfarads.

Se compose de feuilles d'étain, séparées par des feuilles de papier paraffiné. (Ateliers de l'Administration.)

Clef de court circuit.

Elle sert à mettre une résistance quelconque hors d'un circuit en ouvrant au courant un passage sans résistance. (Ateliers de l'Administration.)

Caisse de cinq rhéostats circulaires construits pour les essais de transmission duplex.

Dans ces rhéostats, on fait varier les résistances en déplaçant un bras, mobile autour du centre, et dont l'extrémité vient appuyer sur des contacts, placés aux points de jonction des bobines consécutives. (Ateliers de l'Administration.)

Rhéostats à curseur et à fiches et pont de Wheatstone, de M. Marcillac.

Les bobines de fil fin sont remplacées par des cylindres d'agglomérés spéciaux dont la résistance varie de 1 à 100,000 ohms.

Rhéostats à un cylindre en ébonite à petite résistance.

La résistance variable est donnée par un fil de cuivre encastré dans un cylindre en ébonite. On fait varier d'une façon continue la longueur du fil de cuivre intercalé dans le circuit; on a par suite une variation continue de résistance.

Condensateur avec un nouveau diélectrique en soie caoutchoutée de M. Lagarde.

Rhéostat continu (système Dini).

La résistance variable est celle d'une couche très mince de platine déposée à la surface d'une glace. Un frotteur à manette tourne sur un cadran gradué et presse la circonférence platinée.

Ce rhéostat, tout nouveau et très simple, permet de faire varier rapidement et dans de grandes limites (de 0 à 1.200 ohms pour le modèle exposé) les résistances introduites. On platine la glace par voie sèche en la chauffant fortement en présence d'un mélange de chlorure de platine et d'essence de lavande.

INSTRUMENTS DIVERS, LIVRES, PLANS.

Transmetteur à quatre distributeurs de courants (Froment).

Appareil d'expériences.

Appareil enregistreur électro-chimique (Froment);

peut servir en même temps de chronographe et d'enregistreur.

Machine à mesurer la vitesse de l'électricité de Guillemin,

construit par M. Froment.

Roue des types en galvanoplastie de M. Gautret.

Galvanomètre de précision de M. Charles.

Galvanomètre astatique et à miroir. La bobine est formée d'un fil très fin qui fait 38.000 tours.

Cet appareil a été construit dans les ateliers de l'Administration.

Balance électro-magnétique de M. Charles (deux modèles).

Cet instrument, qui a été construit dans les ateliers de l'Administration, permet de mesurer avec une grande précision la force attractive d'un électro-aimant, en permettant de faire varier de toutes les manières possibles les positions relatives de l'électro-aimant et de la palette.

Échantillons des fils entrant dans la composition des électro-aimants.

Rhéomètre destiné à mesurer l'action calorifique d'une décharge électrique sur un paratonnerre, de M. Jacquez.

Cet instrument, construit par M. Jacquez, a pour pièce principale une hélice de zinc qui, sous l'influence d'une action calorifique ou d'un courant électrique, se déroule régulièrement et s'enroule de même par un refroidissement correspondant.

Téléphones divers.

Microphone de M. Bourseul.

Il se compose de deux plaques de bois encastrées parallèlement dans des plaques de caoutchouc pour éviter les vibrations des corps solides. Elles sont reliées par un petit cylindre de charbon divisé en deux parties que l'on rejoint par une petite enveloppe en caoutchouc et entre lesquelles on a mis de la poussière de charbon.

Pendule électrique de M. Bizot.

en bois découpé; moteur et compensateur électrique.

Pendule à répétition électrique de M. Bizot.

Pyromètre de M. Germain.

La dilatation du métal établit un contact électrique à une température déterminée.

Fil recouvert (système de M. Germain).

Appareil électrique contre la gelée des vignes de M. Germain.

Plan du réseau pneumatique de Paris.

Ce plan a figuré à l'Exposition universelle de 1878. Il représente les communications pneumatiques qui existaient à cette époque entre divers bureaux de la capitale, ainsi que la position des ateliers de production d'air comprimé ou raréfié et la canalisation amenant cette force aux différents postes télégraphiques.

Plan du réseau télégraphique de Paris.

La couleur des fils permet de distinguer les lignes en galeries d'égout, les lignes en tranchée et les lignes aériennes; les perles colorées indiquent les bureaux de l'État et les divers bureaux spéciaux d'intérêt privé, du service municipal, du service militaire. Ce plan a été exécuté par MM. Fournier et Beau.

Clichés galvanoplastiques exposés par la manufacture des timbres-postes.

Petit modèle de communications électriques automatiques entre deux trains en marche ainsi qu'avec les stations,

au moyen d'un conducteur isolé situé au milieu de la voie et d'un système particulier de contacts et du commutateur (système Sozerat et Lorel).

Tableaux, statistiques, cartes, réseau d'intérêt privé par départements, plan de l'École supérieure de télégraphie.

Plan et description d'un appareil télégraphique de M. Anselme.

Atlas de divers modes d'installation des postes de M. Bizot.

Étude du télégraphe Hughes de M. Borel.

Étude du télégraphe Wheatstone de M. Le Tual.

Manuel de télégraphie de M. Houzeau.

Dictionnaire allemand-français et français-allemand de technologie électrique de M. Jacquez.

Machine à voter de M. Davillé.

Dans le pupitre de chaque membre de l'Assemblée sont deux boutons pour l'expression du vote. Le courant, qui est alors envoyé dans l'une ou l'autre des deux urnes, fait basculer le support d'une boule qui vient se placer dans un tableau indicateur et provoque sur son passage la fermeture d'un circuit spécial. Dans ce circuit est intercalé un appareil indicateur à cadran qui permet de contrôler le vote.

Télégraphe pneumatique de Paris.

Réseau pneumatique formé de tubes de cristal d'un développement total de 200 mètres. Une pompe à air à double effet permet de faire circuler dans ce tube un curseur mis en mouvement par aspiration ou refoulement. La colonne de gauche et celle de droite (vide et pression) communiquent avec l'une ou l'autre des extrémités du tube au moyen du jeu de quatre robinets. Deux portes permettent l'introduction des curseurs.

Appareil pour rechercher les dérangements dans les tubes pneumatiques.

Deux anciens récepteurs horizontaux disposés pour la recherche des dérangements.

L'onde sonore produite par la décharge d'un pistolet se propage dans le tube et revient à son point de départ après s'être réfléchie sur l'obstacle. Le temps qui s'écoule entre l'aller et le retour permet de calculer la distance de l'obstacle. Une membrane de caoutchouc appliquée à l'extrémité d'un des tubes vibre sous l'influence de deux ondes et permet de déterminer exactement par un contact électrique le moment précis de la vibration. En effet, le courant ainsi établi agit sur un électro-aimant commandant un style léger qui trace des indications sur un cylindre tournant et recouvert de noir de fumée. — Cet enregistreur peut également recevoir les indications d'un style donnant le temps au moyen d'un courant interrompu par un pendule à seconde. Enfin les variations de pression de l'air dans le tube s'inscrivent sur le cylindre par un style faisant corps avec un piston mobile communiquant avec le réseau pneumatique.

Avertisseur d'incendie à métal fusible, de M. Barbier.

Avertisseur thermo-électrique de M. Lacanau.

PILES.

Élément Daniell.

Modèle ordinnire et à grande surface.

Élément Callaud, 1857.

La différence de densité de la solution saturée de sulfate de cuivre et de l'eau acidulée est utilisée pour la suppression du vase poreux. Le cuivre est maintenu à l'aide d'un gros fil de cuivre recouvert de gutta-percha.

Élément Samson.

Élément analogue à l'élément Callaud, sauf que le fil, recouvert de gutta-percha, est remplacé par du fer émaillé.

Élément Marié Davy.

A charbon et sulfate de sous-oxyde de mercure.

Élément Leclanché,

A l'extérieur du vase poreux, une solution de sel ammoniac; à l'intérieur, un mélange de charbon et de bioxyde de manganèse.

Élément Beaufils à aggloméré dépolarisateur.

Modèles divers.

Dépolarisateur mélange de charbon et de sulfate de sous-oxyde de mercure.

Élément Bizot,

Système Callaud avec tube d'alimentation centrale.

Élément de pile de M. Germain.

Échantillons des produits chimiques ou naturels employés dans la confection des piles ou le service télégraphique.

Charbon de cornue concassé, paraffine, bleu de Prusse, charbon en poudre, sulfate de cuivre, gutta-percha de Macassar et de Bornéo,

caoutchouc de Para, sulfate d'oxydule de mercure, bioxyde de manganèse, sulfate de plomb, aggloméré Beaufi's, bichromate de potasse, bisulfate de mercure, chlorure de sodium, ferrocyanure de potassium, chlorure de plomb, sulfate de soude, chlorate de potasse, sel ammoniac, sulfate d'ammoniaque.

Piles diverses desservant les appareils du pavillon (galerie nord de la nef).

MATÉRIEL DE LIGNE.

Fils avec les divers modes de raccordements isolateurs à cloches; isolateurs arrêts, etc., supports; tendeurs.

Isolateurs de M. Lagarde.

Cloche extérieure en fer malléable et galvanisé; isolateurs utilisés actuellement en Algérie et Tunisie.

Poteaux en bois et en fer, modèles divers.

Outils employés dans la construction des lignes aériennes.

Serrefils, clefs, tirefonds, moufles, cordages, pinces plates et coupantes, ciseaux, étriers, etc.

Tuyaux en fer pour lignes souterraines.

Raccordements à l'aide de bagues en plomb matées à froid.
Modèle de regard, de bobine avec câble, de treuil, etc.

Modèles de câbles à un ou plusieurs conducteurs.

Disposition adoptée pour les lignes souterraines.
Conducteur formé de 7 torons de cuivre enroulés en spirale.
Enveloppe isolante composée de deux couches successives de gutta-percha.
Enveloppe protectrice entourée d'une bande de clinquant enroulée en spirale, d'un guipage de coton goudronné, d'un ruban goudronné et enfin d'un dernier guipage de coton non goudronné.
Spécimens de câbles sous-marins construits par l'usine Menier.
Spécimens du câble Marseille-Alger, construit par la maison anglaise Silvertown, avec ses trois dimensions pour les grandes, les moyennes et les faibles profondeurs.
Spécimens du câble transatlantique de la Cie française de Paris à New York.
Spécimens de câbles divers construits par l'usine Rattier.

Spécimens de divers câbles sous plomb, pour égoûts, tunnels, etc. (construits chez Menier et chez Rattier).

Spécimens de câbles téléphoniques fournis par MM. Berthoud et Bore et par l'usine Rattier.

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE TÉLÉGRAPHIE.

Organisation de l'école supérieure de télégraphie.

Un grand tableau synoptique renferme les données principales de cette organisation : recrutement de l'école, conditions d'admission personnel d'administration et d'enseignement, emploi du temps des élèves, etc.

Il contient aussi des indications relatives aux cours préparatoires à l'école supérieure et aux cours d'instruction pour les agents mécaniciens.

Matériel d'enseignement et travaux des élèves ingénieurs à l'École supérieure de télégraphie.

Ce matériel et ces travaux consistent en livres, journaux de missions, dessins exposés sur l'une des tables affectées à l'école et dans un portefeuille;

En face se trouve le plan des locaux de l'école et du laboratoire.

Installation des appareils de mesure électrique du laboratoire de l'École supérieure de télégraphie.

Sur une table de pierre solidement encastrée dans le sol sont placés un galvanomètre à miroir et un électromètre à quadrants; en avant sur un socle une jauge électrique de Thomson modifiée de façon que ses indications soient projetées sur un écran, ainsi que celles des deux autres instruments.

A cet effet, une lampe à pétrole enfermée dans une lanterne éclaire les trois instruments à l'aide de trois lentilles dont deux munies d'un réticule. L'image des deux réticules est obtenue à l'aide de faisceaux lumineux réfléchis sur deux miroirs plans et les miroirs concaves du galvanomètre et de l'électromètre ; elle se produit sur deux règles divisées en verre dépoli fixées à une traverse sur une table, sur laquelle sont disposés les autres instruments de mesure, rhéostats, shunts, condensateurs, clefs....

Sur la même traverse est fixée, à portée de la main de l'opérateur une petite machine électrique reversible de M. Humblot qui sert à charger simultanément la jauge et l'électromètre, et à maintenir cette charge constante.

Tous ces appareils sont enveloppés de rideaux produisant une demi-obscurité.

Électro-diapason interrupteur à amplitude constante et à période variable de M. Mercadier.

Un électro-aimant à une seule bobine est placé entre les deux branches d'un diapason : un pôle en regard de chacune des branches. Une des extrémités du fil de la bobine est mise en communication avec l'un des pôles d'une pile, l'autre extrémité avec le second pôle par l'intermédiaire du diapason, d'un style de platine et d'un plan de même métal. Lorsque le diapason est au repos, le style et le plan de platine sont séparés, le circuit de la pile est alors ouvert. Mais si l'on fait vibrer l'instrument, le style vient buter contre le plan de platine, le circuit de la pile se ferme, et l'électro-aimant attire les branches du diapason ; puis le circuit de la pile s'ouvre, le style vient ensuite fermer de nouveau le circuit, et de même à chaque période ; de sorte que les vibrations de l'instrument sont entretenues automatiquement, et cela d'une façon intermittente au moment du plus grand écart des branches et lorsque leur vitesse devient nulle.

Une disposition simple permet de faire varier le point de contact du style et de la surface de platine. On évite ainsi les mauvais contacts que produiraient l'usure du platine ou son oxydation par l'étincelle. Par ce procédé on peut déplacer le contact le long d'une circonférence du batoir, faire ensuite varier le rayon de celle-ci, de manière à user successivement et à propos toute la surface du platine.

On mesure micrométriquement l'amplitude des vibrations. Sur un petit carré de papier épais on a tracé une échelle verticale graduée, et à partir du zéro de la graduation un second trait beaucoup plus gros et oblique. Ce papier est fixé au moyen de cire molle à l'extrémité de l'une des branches du diapason. Pendant la vibration et par l'effet de la durée des impressions sur la rétine, ces deux lignes peignent en gris le fond blanc du papier. Ces deux teintes grises ont une partie commune plus foncée partant du zéro et s'étendant d'autant plus bas sur la graduation que l'amplitude est plus grande. Le point où s'arrête cette teinte plus foncée peut donner par une simple lecture l'amplitude de la vibration.

L'instrument porte des masses métalliques mobiles permettant de faire varier la *période vibratoire.*

L'électro-aimant est mobile parallèlement aux branches du diapason, ainsi que dans le sens vertical. Le noyau de fer doux creux est fileté : dans ces deux sortes d'écrou s'engagent des vis de fer doux, au moyen desquels on éloigne ou l'on rapproche les pôles des branches. On peut ainsi faire varier l'amplitude.

Enfin, l'ensemble de l'instrument peut se mouvoir dans deux plans rectangulaires, et, par ce moyen, être mis dans une position quelconque.

Électro-diapason pour essais de piles de M. Mercadier.

Il est entretenu par trois électro-aimants.

Il est destiné à fermer et ouvrir successivement par ses vibrations les circuits de plusieurs piles. Il remplace ainsi la manipulation de plusieurs employés, et permet de juger de la valeur d'une pile au point de vue du service télégraphique.

Dans ce but on a disposé sur chaque branche un butoir horizon tal. A chaque vibration ces deux butoirs poussent de petites lames en nombre égal à celui des piles à éprouver. Cette poussée ferme les circuits des piles, qui s'ouvrent au mouvement inverse du diapason.

On mesure avant l'épreuve et ensuite tous les jours la force électromotrice et la résistance intérieure des piles étudiées. Connaissant chaque fois le temps écoulé, la période vibratoire du diapason et, par suite, le nombre d'émissions de courant, on peut facilement apprécier la valeur pratique des piles à l'épreuve.

Chronographe enregistreur à vitesse variable de M. Mercardier.

Il est destiné à enregistrer avec une grande précision les phénomènes de courte durée. L'enregistrement est recueilli sur un cylindre horizontal animé par un poids d'un mouvement hélicoidal le long d'un pas de vis parallèle à son axe : dans ce but, on enroule sur cette surface une bande de papier télégraphique que l'on enfume.

Un électro-diapason muni d'un style très léger frotte sur le papier enfumé. Au-dessus et portés par une tringle horizontale se trouvent deux petits électro-aimants également munis de style qui se meuvent à côté du précédent. Les nombreux réglages des divers organes permettent d'inscrire les mouvements des trois styles côte à côte sur la largeur du papier employé. Ces petits électro-aimants sont destinés à enregistrer les époques de deux phénomènes quelconques ou leurs durées, pendant que le diapason inscrit le temps ou fractions de secondes.

Avec cet instrument, on a enregistré la seconde, le centième ou le millième de seconde. On emploie pour cela suivant les cas des modérateurs à ailettes de dimensions diverses qui laissent prendre au cylindre une vitesse convenable.

Pour apprécier le résultat de l'expérience, on n'a qu'a détacher du cylindre la bande de papier sur laquelle les inscriptions se suivent d'une manière continue.

Appareils radiophoniques de M. Mercadier.

1° *Photophone.* — Un rayon de lumière émis par une source lumineuse quelconque vient tomber sur une roue opaque présentant des fenêtres transparentes. La rotation rapide de cette roue intercepte le rayon à des intervalles très petits et envoie des émissions lumineuses intermittentes sur une surface de sélénium introduite avec un téléphone dans le circuit d'une pile. La résistance du sélénium varie avec l'intensité de la lumière incidente, le courant varie avec cette résistance, et la plaque du téléphone se met à vibrer. La hauteur du

son rendu correspond au nombre d'interruptious que le rayon lumineux a subies.

Dans l'appareil exposé la roue est en verre recouvert de papier noir. Des trous percés régulièrement suivant quatre circonférences, produisent des émissions lumineuses. Ces circonférences comprennent 80, 60, 50, 40 trous, de telle sorte que les quatre sons produits suivant que le rayon tombe sur l'un ou l'autre de ces cercles donnent les intervalles de l'accord parfait. 4 écrans mus par des touches obstruent les séries de trous et permettent de découvrir à volonté l'une d'entre elles. Si les 4 écrans sont ouverts simultanément le téléphone fait entendre l'accord parfait.

Le récepteur de sélénium est disposé de la manière suivante : deux lames métalliques séparées par une bande de parchemin sont enroulées en spirale et communiquent l'une avec la borne d'arrivée l'autre avec la borne de sortie du courant, Sur la branche de la spirale ainsi formée, on dépose une mince couche de sélénium que le courant est forcé de traverser sur une très grande surface et une petite épaisseur.

2° *Appareil photophonique horizontal.* — La roue en mica est rendue opaque au moyen d'une couche de blanc de zinc et présente deux rangées circulaires de fenêtres carrées, la roue est horizontale et mise en rotation par un mouvement d'horlogerie.

3° *Récepteurs à sélénium pour les appareils précédents.*— Les uns sont en platine, les autres en cuivre.

4° *Thermophone.* — Un rayon de lumière intermittente obtenu au moyen d'une roue semblable à celle du photophone, vient tomber sur un récepteur beaucoup plus simple : une feuille de métal ou même de papier recouverte de noir de fumée est enfermée dans un petit tube de verre. Les émissions de chaleur rayonnante qui frappent cette lame dilatent l'air retenu dans le noir de fumée, ces alternatives de dilatation et de contraction font vibrer cet air et donnent un son. Un tuyau de caoutchouc muni d'un cornet et adapté au tube de verre permet d'entendre le son produit.

Transmetteur photophonique pour la transmission de la parole.— On parle dans un cornet communiquant avec une chambre à air cylindrique fermée par une cloison de caoutchouc. Derrière cette cloison et séparée d'elle par une seconde chambre à air, un miroir en verre argenté extrêmement flexible vibre comme la membrane de caoutchouc. Des rayons lumineux parallèles, réfléchis par ce miroir tombent au poste d'arrivée, sur un récepteur à sélénium on un termophone : les vibrations du miroir sont traduites par des variations d'intensité du rayon lumineux, et le téléphone placé dans le même circuit que le sélénium ou le thermophone vibre à l'unisson du miroir et reproduit la parole.

Modèle d'appareil pouvant servir à la production de signaux de lumière électrique dans les phares de M. Mercadier.

Le déclenchement d'un mouvement d'horlogerie communique un mouvement de rotation uniforme à une roue verticale qui porte deux sortes de cames, l'une très courte, destinée à produire le courant, l'autre concentrique à la roue et plus ou moins longue destinée à produire les signaux. Un bras de levier vertical s'appuie sur le pourtour de la roue par son extrémité inférieure, terminée par une petite roulette, qui se trouve par suite successivement en contact avec la came supérieure, la came intermédiaire et la roue. Dans le premier cas, un contact s'établit entre un charbon cylindrique horizontal et un charbon vertical, et il y a production du courant à travers ces charbons. La durée du contact est très courte, et, la roulette s'abaissant sur la seconde came, une pince saisit le charbon supérieur et le soulève à une distance assez faible pour qu'il y ait production d'un arc voltaïque plus ou moins long suivant la longueur de la came. Enfin, dans le troisième cas, le charbon supérieur est de nouveau soulevé, et il y a éclipse.

De plus, une disposition simple permet d'user le charbon horizontal sur toute sa surface. A cet effet, une seconde roue montée sur l'axe de la première, porte un évidement et une saillie circulaires, qui agissent sur une série de quatre cames rectangulaires dont l'axe coïncide avec celui du charbon inférieur, et communiquent à ce charbon un mouvement de rotation intermittent, ne se produisant que lors des éclipses. Le déplacement longitudinal est réalisé au moyen d'une vis fixe dont la pointe pénètre dans les rainures d'une hélice disposée suivant l'axe précédent.

Commutateur général de piles.

Cet appareil permet de réaliser avec 20 éléments de piles tous les accouplements possibles, soit en tension, soit en quantité.. Pour cela des blocs de cuivre isolés et numérotés (par ex., — 1 pôle négatif du 1er élément + 1, — 2, etc) sont reliés respectivement à des bornes portant les mêmes numéros et destinés à recevoir les fils. Des clefs permettent d'ailleurs d'établir une communication entre tels blocs que l'on veut.

Matériel portatif pour les essais électriques,

Exposé par M. Seligmann-Lui, sous-ingénieur des télégraphes.

Il se compose d'un galvanomètre asiatique, d'un pont de Wheatstone, de clefs, d'un shunt, d'une échelle et d'une lanterne à bougie. On y a joint un carnet de diagrammes explicatifs des diverses mesures électriques ordinaires.

Machine électrique de M. Humblot.

Cette machine se compose de deux disques d'ébonite collés l'un sur l'autre et entre lesquelles se trouvent de petites plaques de cuivre qui constituent les induits et qui se terminent à l'extérieur par un petit bouton métallique. Le double disque d'ébonite tourne entre

deux frotteurs. — Deux ressorts ou collecteurs appuient également sur le disque.

Par le frottement, l'ébonite se charge d'électricité négative. Il en est de même des plaques de cuivre intérieures qui déposent leur électricité sur les collecteurs.

Cette machine fonctionne même par les temps humides.

Machine électrique réversible de M. Humblot.

Elle se compose, comme la précédente, d'un double disque de d'ébonite. Seulement les plaques métalliques sont prolongées par de petits appendices qui viennent émerger sur la circonférence un peu en arrière de la plaque, si la roue tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. — Un frotteur et un collecteur jouent le même rôle que précédemment. Mais il y a en plus un petit ressort métallique qui communique avec le frotteur et vient appuyer sur la circonférence de la roue.

Grâce à cette disposition, lorsque la roue tourne dans le sens des aiguilles d'une montre le collecteur est chargé positivement. Lors qu'elle tourne en sens inverse il est chargé négativement.

Appareil de démonstration pour la transmission électrique double en pont de MM. Humblot et H. Terral, chef d'atelier du laboratoire de l'École supérieure de télégraphie.

Dans cet appareil les piles sont remplacées par des souffleries, les rhéostats par des robinets, la ligne par une conduite d'air, et l'atmosphère représente la terre comme réservoir commun.

Turbine de M. Humblot.

Cette turbine sert à faire fonctionner le télégraphe Hughes en permettant la suppression des poids et de divers organes.

Elle se compose de 20 ailettes coudées à angle droit, rivées à deux disques qui sont fixés à l'axe; elle forme ainsi une chambre pour la détente des gaz ou des vapeurs; car sans aucune modification on peut l'utiliser aussi bien avec un autre fluide qu'avec l'eau sous pression.

Ce moteur, appliqué à l'appareil Hughes, peut être placé dans l'espace laissé libre par la suppression de trois mobiles du mouvement d'horlogerie, une légère chaîne de Vaucanson communique le mouvement de la turbine au volant de l'appareil.

Il est peu volumineux, d'une installation très simple et ne se dérange jamais.

CHRONIQUE.

Congrès international des électriciens.

Le Congrès international des électriciens a tenu ses séances du 15 au 5 octobre 1881.

A la liste des membres français qui a été publiée dans le dernier numéro, il y a lieu de joindre :

MM. Bressonet, général de division, président du comité des fortifications.
Jourdan, commandant du génie.
Penel, commandant d'état-major, rapporteur de la commission de télégraphie militaire.

Nous reviendrons sur les travaux du congrès; pour le moment nous nous bornons à donner la liste des membres étrangers.

Allemagne (Empire d').

S. A. l'ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire de l'empire d'Allemagne à Paris.

MM. le Dr Brix, ingénieur des télégraphes, à Berlin.
le Dr du Bois-Reymond, professeur, conseiller intime, à Berlin.
le Dr Clausius, conseiller intime, à Bonn.
Elsasser, conseiller supérieur du département des postes germaniques, commissaire de l'empire d'Allemagne à l'Exposition internationale d'électricité, à Berlin.
Förster, professeur, directeur de l'observatoire de Berlin.
de Gentzkow, attaché militaire à l'ambassade d'Allemagne à Paris.
le Dr Helmholtz, conseiller intime du gouvernement, à Berlin.
le Dr Hittorf, professeur, à Munster.

MM. le Dr G. Kirchoff, professeur, conseiller intime, à Berlin.
le Dr Siemens (Werner), conseiller intime du gouvernement, à Berlin.
le Dr Voller, directeur de l'Institut de physique, à Hambourg.
le Dr G. Wiedemann, professeur, conseiller aulique, à Leipzig.
le Dr de Zech, professeur, à Stuttgart.
de Ziemssen, professeur, membre du conseil supérieur de médecine, à Munich.

Argentine (Confédération).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la Confédération argentine à Paris.
le colonel Mansilla (Lucio-Victorio), agent militaire de la République en Europe.

Autriche (Empire d').

S. E. l'ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire d'Autriche-Hongrie à Paris.
MM. le Dr Mach, professeur à l'Université de Prague, membre de l'Académie des sciences de Vienne.
le Dr Hermann Militzer, conseiller de section au ministère impérial et royal du commerce, membre correspondant de l'Académie des sciences de Vienne.

Belgique (Royaume de).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Belgique à Paris.
Banneux (J.), ingénieur en chef des télégraphes de l'État, membre de la commission belge, à Bruxelles.
Berlet (A.), ingénieur en chef, chef du service de l'éclairage et du chauffage aux chemins de fer de l'État, à Bruxelles.
Bastings (A.), docteur en médecine, membre de la commission belge, à Bruxelles.
Bede (E.), ingénieur, membre de la commission belge, à Bruxelles.
Belpaire (A.), administrateur des chemins de fer de l'État, à Bruxelles.

MM. *Bergé (H.)*, membre de la Chambre des représentants, professeur de chimie à l'Université libre de Bruxelles, Bruxelles.

Defarge (F.), ingénieur en chef, directeur des télégraphes de l'État, à Bruxelles.

Flamache (A.), ingénieur à l'administration des chemins de fer de l'État, professeur de construction de chemins de fer, à l'École du génie civil, à Gand.

Fourcault (F.), administrateur de la Compagnie des bronzes, membre de la commission belge, à Bruxelles.

Gérard (E.), sous-ingénieur des télégraphes de l'État, secrétaire du commissariat de Belgique, à Bruxelles.

Gilbert (P.), professeur à l'Université de Louvain, Louvain.

Mlle Gloesener (A.), à Liège.

MM. Gody (L.), capitaine d'artillerie, professeur de physique et de chimie à l'École de guerre, à Bruxelles.

Gramme (Z.), à Paris.

Jaspar (J.), constructeur, membre de la commission belge, à Liège.

Jouret (Th.), professeur de chimie appliquée à l'École militaire, à Bruxelles.

Le Boulengé (P.), lieutenant-colonol de l'état-major de l'artillerie, membre de la commission belge, à Liège.

Malevé (Ch.), capitaine en premier du génie, commandant de la Compagnie des télégraphistes de campagne, membre de la commission belge, à Bruxelles.

Maus (H.), membre de l'Académie royale des sciences, directeur général de l'administration des ponts et chaussées et des mines à Bruxelles.

Montefiore-Levi (G.), ingénieur civil, vice-président de la commission belge, à Bruxelles.

Montigny (C.), membre de l'Académie royale des sciences, à Bruxelles.

Neujean (A.), ingénieur-chimiste, à Liège.

Pérard (L.), professeur à l'Université de Liège, à Liège.

Rau (Ed.), ingénieur civil, membre de la commission belge, à Bruxelles.

Rommelaere (L.), chimiste, membre de la commission belge, à Bruxelles.

MM. Rousseau (C.), professeur à l'Université libre de Bruxelles et à l'École militaire, à Bruxelles.
Somzée (L.), ingénieur honoraire des mines, vice-président de la commission belge, à Bruxelles.
Valérius (H.), professeur à l'Université de Gand, à Gand.
Van den Kerchove (P.), sénateur, président de la commission belge de l'Exposition internationale d'électricité, à Gand.
Van Rysselberghe (F.), météorologiste à l'observatoire royal de Bruxelles, membre de la commission belge, à Bruxelles.
Witmeur (H.), ingénieur de l'administration des ponts et chaussées et des mines, à Bruxelles.

Brésil (Empire du).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Brésil à Paris.
Jamin, membre de l'Institut, à Paris.

Colombie (États-Unis de la).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire des États-Unis de la Colombie à Paris.
Triana (José), naturaliste, consul général de Colombie, à Paris.

Costa Rica (République de).

MM. Peralta (Manuel de), envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la République de Costa-Rica à Paris.
de Linares (Augusto-Gonzales).
Somzée (Léon).

Danemark (Royaume de).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Danemark à Paris.
le capitaine Jahncke, sous-chef au corps des mines maritimes.
Lorentzen (V.), ingénieur des télégraphes de l'État, à Copenhague.

M. le capitaine Lund, sous-chef au corps des mines maritimes.

Espagne (Royaume d').

S. E. l'ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire d'Espagne à Paris.

MM. Arantave (Enrique), inspecteur général des télégraphes, à l'île de Cuba.

Boffil (Pedro), employé des télégraphes.

Camerma y Batalla (Andres), inspecteur des ingénieurs de la marine.

Cortazar (Daniel de), ingénieur des mines.

Gil y Maestre (Amelio), ingénieur des mines.

Morer (José), ingénieur directeur du canal d'Isabelle II, à Madrid.

Orduña y Munoz (Carlos), directeur de première classe des télégraphes, commissaire d'Espagne à l'Exposition d'électricité.

Pedroso (Carlos), licencié de la Faculté des sciences.

Perez de la Salla (Pedro), ingénieur professeur à l'École des ponts et chaussées.

Simarro (Luis), docteur en médecine.

Togores y Fabregas (Joaquin), inspecteur de première classe des ingénieurs de la marine.

États-Unis de l'Amérique du Nord.

MM. l'envoyé extraordinaire et plénipotentiaire des États-Unis de l'Amérique du Nord à Paris.

le professeur Barker (G.F.), de l'Université de la Pensylvanie.

le capitaine Heap (D.-P.), du corps du génie.

le Dr Herz (Cornélius), ingénieur-électricien.

le lieutenant Mac Lean (T.-C.), de la marine des États-Unis.

le professeur Rowland (Henry-A.), à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore.

États-Unis du Mexique.

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Mexique à Paris.

MM. Cardenas (Alberto).
Covarrubias (Francisco-Diaz), ingénieur-géographe.

États-Unis de Venezuela.

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Venezuela à Paris.
Borges (Gerardo-M.), directeur général des télégraphes de Venezuela.

Grande Bretagne et d'Irlande (Royaume-Uni de).

S. E. l'ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire de Grande-Bretagne et d'Irlande à Paris.
MM. Abel, CB, FRS, professeur de chimie, Royal Arsenal, Woolwich.
le professeur Adams (W.-Grylls), FRS, à Londres.
le lieutenant Anstruther (R.-W.), RE.
le professeur Ayrton (W.-E.), FRS, BS.
le professeur Barrett (W.-F.), Royal College of science, à Dublin.
Sir Charles Bright, CE, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.
MM. Chrystal, FRS, professeur à l'Université d'Édimbourg.
Clark (Latimer), M. Inst. CE, à Londres.
Clifton (R.-B.), FRS, professeur à l'Université d'Oxford.
Earl of Crawford and Balcarres, FRS, commissaire général à l'Exposition internationale d'électricité.
MM. Crookes (W.), FRS, à Londres.
le Dr de la Rue (Warren), LLD, DCL, FRS, à Londres.
le professeur Dewar (J.), Royal Institution, à Londres.
Everett (J.-D.), professeur, FRS, à Belfast (Irlande).
le professeur Fitzgerald (G.), Trinity College, à Dublin.
Foster (G. Carey), FRS, professeur, University College, à Londres.
le Dr Gladstone (J.-H.), FRS, à Londres.
Gordon (J.-E.-K.).
Graves (E.), ingénieur en chef à l'administration des télégraphes, à Londres.
le Dr Hopkinson (John), FRS, à Londres.
le professeur Hughes, DE, FRS, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.

MM. le professeur Jenkin (Fleeming), FRS, professeur à l'Université d'Édimbourg.
Moulton (J.-F.), FRS, à Londres.
Preece (W.-H.), FRS, électricien en chef de l'administration des télégraphes à Londres.

Lord Rayleigh, FRS, professeur de physique à l'Université de Cambridge.

MM. le Dr Siemens (C.-W.), D, C, L, LLD, FRS, à Londres.
Smith, FRS, professeur à l'Université d'Oxford.
Smith (Willougbly), à Londres.
Spagnoletti (C.-E.), à Londres.
Spottiswoode (W.), président de la Société royale, DCL, LLD, à Londres.
Stroh (A).
le professeur Tait (P.-G.), Édimbourg.

Sir William Thomson, FRS, LLD, professeur à l'Université de Glasgow.

MM. le professeur Tyndall (J.), FRS, DCL, LLD, Royal Institution, à Londres.
Varley (Cromwell), FRS, à Londres.
Walker (C.-V.), FRS, à Reigate.
le lieutenant-colonel Webber (C.), RE, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.

Grèce (Royaume de)

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Grèce à Paris.
Argyropoulo (Timoléon), professeur de physique à l'École militaire d'Athènes.
Protopappadaky.

Guatemala (République du).

M. Crisanto-Medina, ministre de la république du Guatemala, à Paris.

Hongrie (Royaume de).

M. le baron Eötvös (Lorand), professeur de physique à l'Université de Budapest et membre de l'Académie hongroise des sciences.

Italie (Royaume d').

S. E. l'ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire d'Italie à Paris.

MM. Ferraris (Galileo), professeur de physique industrielle au Musée royal industriel de Turin, délégué du Musée industriel de Turin.

Govi (Gilbert), professeur de physique à l'Université de Naples, délégué du gouvernement italien, commissaire général d'Italie à l'Exposition d'électricité.

Piccoli (Valentin), ingénieur.

Rossetti (François), professeur de physique à l'Université de Padoue, délégué du ministère de l'instruction publique.

Japon (Empire du).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Japon à Paris.

Becquerel (Henri), ingénieur des ponts et chaussées, répétiteur à l'École polytechnique.

Luxembourg (Grand-duché de).

MM. le chargé d'affaires du Luxembourg à Paris.

Willière, ingénieur, directeur du chemin de fer du prince Henri, à Luxembourg.

Nicaragua (République de).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Nicaragua à Paris.

Petitdidier (Arthur), consul général du Nicaragua à Paris.

Norvége (Royaume de).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Suède et Norvège à Paris.

Broch (O.-J.), ancien ministre, professeur à l'Université de Christiania.

Bugge (J.-U.-F.), inspecteur des télégraphes de Norvège.

Koren (B.-J.-R.), capitaine de la marine royale de Norvège, chef du service des torpilles.

Pays-Bas (Royaume des).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire des Pays-Bas à Paris.
le Dr Bosscha (Johannes), directeur de l'École polytechnique, à Delft.
Collette (J.-M.), inspecteur, chef du service technique des télégraphes des Pays-Bas.
Van Kerkwijk (J.-J.), membre des États généraux, à la Haye.

Portugal (Royaume de).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Portugal à Paris.
d'Andrade Corvo, ministre d'État honoraire, pair du royaume de Portugal.
le conseiller de Barros (Guillermino-Augusto), directeur générat des postes, télégraphes et phares du royaume de Portugal.
le Dr dos Santos Viegas (Antonio), professeur à l'Université de Coïmbre.

Russie (Empire de).

S. E. l'ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire de Russie à Paris.
MM. le conseiller d'État Avenarius, professeur à l'Université impériale de Kieff.
Borgmann, professeur de physique, délégué de la Société de physique de Russie.
Dechevow (Michel), conseiller d'État, chimiste et ingénieur des mines, délégué par l'Expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.
Egoroff (Nicolas), professeur de physique à l'Université impériale de Varsovie.
Latchinoff (Dmitry), professeur de physique, délégué de la Société impériale polytechnique, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.
Lenz, conseiller d'État actuel, professeur à l'Institut technologique à Saint-Pétersbourg.

MM. Lermontow (Vladimir), délégué par la Société de physique de Russie.
Likhatcheff, vice-amiral, attaché naval auprès de l'ambassade de Russie en France.
Okschewsky (Thomas), ingénieur technologue de 1re classe, délégué par l'expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.
Radiwanowski, capitaine du génie.
Routkowski (Mictchislas de), ingénieur, délégué par le ministère impérial des voies de communication.
Slouginoff, professeur de physique.
Stoletow (Alexandre), professeur de physique à l'Université impériale de Moskou, délégué de la Société impériale des Amis des sciences naturelles et du Musée polytechnique de Moskou, conseiller d'État actuel.
Tchikoleff (Vladimir), directeur de l'éclairage électrique au département de l'artillerie, à Saint-Pétersbourg.
Walberg, général-major du génie.

Salvador (République de).

MM. le ministre plénipotentiaire de Salvador à Paris.
Tresca (Gustave), conservateur adjoint des collections du Conservatoire des arts et métiers, attaché à la commission internationale du système métrique.

Suède (Royaume de).

MM. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Suède et Norvège à Paris.
Dahlander (G.-R.), professeur de physique à l'École polytechnique supérieure, à Stockholm.
Nordlander (D.), directeur général des télégraphes.
Nystrom (C.-A.), chef du bureau technique de l'administration des télégraphes de Suède, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.
Thalén (T.-R.), professeur de physique à l'Université d'Upsala.

Suisse (Confédération).

M. l'envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la Confédération suisse à Paris.

MM. le professeur Hagenbach, à Bâle.
Rothen (Timothée), adjoint à la direction des télégraphes, à Berne.
le professeur Wartmann, à Genève.
Weber (F.), professeur à l'École polytechnique de Zurich.

CHANCELLERIE DU CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS.

MM. le Dr d'Arsonval, préparateur au Collège de France.
Cabanellas, lieutenant de vaisseau.
Cantagrel, ingénieur.
Delahaye, ingénieur.
Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, agrégé de physique à la Faculté de médecine.
Géraldy (Frank), publiciste.
Hospitalier, ingénieur des arts et manufactures.
Napoli, ingénieur à la compagnie des chemins de fer de l'Est.
Niaudet, ingénieur.
Pellat, professeur au lycée Louis-le-Grand.
Sartiaux (E.), ingénieur à la compagnie des chemins de fer du Nord.
Teisserenc de Bort (Léon), chef du service de météorologie générale au Bureau central météorologique.

Adjoints à la chancellerie.

MM. les élèves de l'École supérieure de télégraphie :
Cailho, Consigny, Durègne, Gidel, Guerville, Massin, de Nerville, Schæffer et de la Touanne.

Exposition internationale d'électricité

JURY DES RÉCOMPENSES.

Le jury international des récompenses pour l'Exposition internationale d'électricité est composé de cent cinquante jurés : soixante-quinze pour la France et soixante-quinze pour les pays étrangers, qui ont pris part à l'Exposition.

Les membres français du jury ont été nommés par le gouvernement. Quant aux membres étrangers, ils ont été répartis ainsi qu'il suit entre les divers pays.

Belgique, 11.	Suède, 5.
Allemagne, 10.	Suisse, 4.
Angleterre, 10.	Espagne, 3.
États-Unis de l'Amérique du Nord, 7.	Norvège, 3.
Italie, 6.	Pays-Bas, 3.
Autriche, 5.	Danemark, 1.
Russie, 5.	Hongrie, 1.
	Japon, 1.

Le jury s'est divisé en cinq groupes correspondant chacun à plusieurs classes de l'Exposition (voir *Annales*, p. 95). Il a nommé lui-même son président, son vice-président et le rapporteur général.

Les divers groupes ont également nommé leurs présidents, vice-présidents et rapporteurs.

Le tableau suivant donne la composition générale du jury, tel qu'il a été constitué.

Président.

M. Teisserenc de Bort, sénateur, ancien ministre. —(France.)

Vice-président.

MM. Barker (Georges F.), MD, MNAS, professeur de physique à l'Université de Pensylvanie. — (États-Unis de l'Amérique du Nord.)

Belpaire, administrateur des chemins de fer de l'État. — (Belgique.)

Rosetti (François), professeur de physique à l'Université de Padoue. — (Italie.)

Le Dr de la Rue (Warren), LLD, DCL, FR, S, correspondant de l'Institut (Académie des sciences), à Londres. — (Grande-Bretagne.)

Le Dr Wiedemann, professeur, conseiller aulique à Leipzig. — (Allemagne.)

Rapporteur général

M. Mascart, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique. — (France.)

RÉPARTITION DES MEMBRES DU JURY INTERNATIONAL DES RÉCOMPENSES EN CINQ GROUPES.

GROUPE I. — CLASSES 3, 8, 9 ET 14.

Président.

M. Dumas (J.-B.), membre de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. — (France.)

Vice-présidents.

MM. le Dr Clausius, conseiller intime à Bonn. — (Allemagne.)
Van Kerkwijk (J.-J.), membre des États généraux à la Haye. — (Pays-Bas.)

Rapporteur.

M. Joubert, secrétaire général de la Société française de physique, professeur au collège Rollin. — (France.)

Membres.

Allemagne.

MM. Hegener, directeur, à Cologne.
le Dr Kundt, professeur à Strasbourg.

Autriche.

M. de Leber, commissaire d'Autriche à l'exposition internationale d'électricité.

Belgique.

MM. Barlet, ingénieur en chef, chef du service de l'éclairage et du chauffage aux chemins de fer de l'État.
Belpaire, administrateur des chemins de fer de l'État.

Danemark.

M. Lorentzen (V.), ingénieur des télégraphes de l'État.

États-Unis de l'Amérique du Nord.

MM. Barker (George-F.), MD,MNAS, professeur de physique à l'Université de Pensyvanie.
Goodwin (Charles-R.), constructeur à Paris.
Rowland (H.-A.), Ph. D,MNAS, professeur de physique à l'Université de Johns Hopkins.

France.

MM. Teisserenc de Bort, sénateur, ancien ministre de l'agriculture et du commerce, président du comité technique.

Dupuy de Lôme, sénateur, membre de l'Institut.

Hervé-Mangon, député, membre de l'Institut.

Lesguillier, député, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur des chemins de fer de l'État.

Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, professeur à l'École polytechnique et au Collège de France.

Cornu, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique.

Frémy, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, professeur au Muséum d'histoire naturelle.

Tresca, membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers.

Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service central des phares.

Bertin-Mourot, sous-directeur à l'École normale supérieure.

Bouty, professeur au lycée Saint-Louis.

Crova, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier.

Forquenot, ingénieur de la traction à la compagnie des chemins de fer d'Orléans.

Le Blanc (Félix), professeur à l'École centrale des arts et manufactures.

Lecœuvre, ingénieur civil, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.

Le Roux, professeur de physique à l'École supérieure de pharmacie, répétiteur à l'École polytechnique.

Lévy (Maurice), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur suppléant au Collège de France.

Luuyt, ingénieur en chef des mines.

Le colonel Mangin.

Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Mathieu, capitaine de vaisseau.

MM. Potier, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique et à l'École des mines.
Ser, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Terquem, professeur à la Faculté des sciences de Lille.
Violle, professeur à la Faculté des sciences de Lyon.

Grande-Bretagne.

MM. le major Armstrong, RE.
Crampton, ingénieur civil.
Crookes (W.), FRS.
Everett (J.-D.), professeur, FRS, à Belfast (Irlande).
Forbes, ancien professeur de physique.

Italie.

MM. Botto (Antoine), capitaine de génie, représentant de l'Institut topographique militaire.
Ferraris (Galileo), professeur de physique au Musée industriel de Turin.
Ferrini (Rinaldo), professeur de physique technologique à l'Institut technique supérieur de Milan.
Rossetti (François), professeur de physique à l'Université de Padoue.

Norvège.

M. Koren (B.-J.-B.), capitaine de la marine norvégienne.

Russie.

MM. Egoroff, professeur de physique à l'Université impériale de Varsovie.
Radiwanowski, capitaine du génie.

Suède.

MM. Dahlander (G.-R.), professeur de physique à l'École polytechnique supérieure, à Stockholm.
Ekermann (C.-F.), capitaine de la marine suédoise.

Suisse.

MM. Amsler, professeur à Schaffouse.
Hagenbach, professeur à Bâle.

GROUPE II. — CLASSES 4, 6 ET 7.

Président.

M. Becquerel (Ed.), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers, professeur au Muséum d'histoire naturelle. — (France.)

Vice-présidents.

MM. le Dr Brix, ingénieur des télégraphes à Berlin. — (Allemagne.)

Preece (W.-H.), FRS, électricien en chef de l'administration des télégraphes à Londres. — (Grande-Bretagne.)

Rapporteur.

M. Blavier, directeur-ingénieur des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie. — (France.)

Membres.

Autriche.

MM. Kareis, ingénieur des télégraphes.

Pontzen (E.), ingénieur civil.

Belgique.

MM. Banneux, ingénieur en chef des télégraphes de l'État, membre de la commission belge de l'Exposition d'électricité.

Malevé, capitaine en premier du génie, commandant de la compagnie des télégraphistes de campagne.

Rousseau, professeur à l'Université de Bruxelles et à l'École militaire.

Espagne.

MM. Arantave (Enrique d'), inspecteur général des télégraphes de l'île de Cuba.

Montenegro (Adolpho), inspecteur des télégraphes.

Urena (Justo), directeur des télégraphes.

États-Unis de l'Amérique du Nord.

MM. Carhart (Henry-S.), professeur de physique à l'Université *Northwestern.*

Freemann (Franck-L.), inspecteur principal de la section électrique de l'office des brevets des États-Unis.

France.

MM. Janssen, membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes, directeur de l'observatoire de physique de Meudon.

Banderali, ingénieur chargé du service central du matériel au chemin de fer du Nord.

Baron, directeur au ministère des postes et des télégraphes.

Bergon, administrateur, chargé du service technique au ministère des postes et des télégraphes.

Bontemps, inspecteur-ingénieur, professeur à l'Ecole supérieure de télégraphie.

MM. Cael, ingénieur-inspecteur des télégraphes.

Clérac, ingénieur des télégraphes.

Fernet, inspecteur général de l'enseignement secondaire.

Gavarret, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris, inspecteur général de l'enseignement supérieur.

Guillbot de Nerville, inspecteur général des mines.

le colonel Laussédat, directeur des études à l'École polytechnique, professeur au Conservatoire des arts et métiers.

Mascart, professeur au Collège de France, directeur au Bureau central météorologique.

Pollard, ingénieur des constructions navales.

Raynaud, inspecteur des télégraphes, professeur à l'École supérieure de télégraphie.

le général baron de Saint-Cyr Nugues, président de la commission de télégraphie militaire.

Sartiaux, ingénieur, sous-chef de l'exploitation à la compagnie des chemins de fer du Nord.

Trotin, ingénieur, chef du service de la vérification et de la réception du matériel au ministère des postes et des télégraphes.

Grande-Bretagne.

M. Bidwel (Shelford).

Italie.

M. Ubicini, chef du service télégraphique des chemins de fer de l'Italie méridionale.

Norvège.

M. Bugge (J.-U.-F.), inspecteur des télégraphes.

Pays-Bas.

M. Collette (J.-M.), chef du service des télégraphes à la Haye.

Suède.

MM. Staaff (F.-N.), colonel, attaché militaire de l'ambassade de Suède et Norvège à Paris.
Stork (J.), directeur des télégraphes des chemins de fer de l'État.

Suisse.

M. Rothen (Timothée), adjoint à la direction des télégraphes, à Berne.

GROUPE III. — CLASSES 2, 10 ET 11.

Président.

M. le Dr de Beetz, professeur à Munich. — (Allemagne).

Vice-président.

M. Wartmann, professeur, à Genève. — (Suisse).

Rapporteur.

M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, agrégé de physique à la Faculté de médecine de Paris. — (France).

Membres.

Allemagne.

MM. le Dr Voller, directeur de l'Institut de physique, à Hambourg.
le Dr Wiedemann, professeur, conseiller aulique, à Leipzig.

Belgique.

MM. Rommeleare, chimiste au Musée royal de l'industrie.
Valerius, professeur à l'université de Gand.

France.

MM. Berthelot, sénateur, membre de l'Institut, inspecteur général de l'Université, professeur au Collège de France.
Wurtz, sénateur, membre de l'Institut, président de l'Académie des sciences.
Debray, membre de l'Institut.
Marey, membre de l'Institut, professeur au Collège de France.
Cailletet, correspondant de l'Institut.
d'Arsonval, préparateur au Collège de France.
Gernez, professeur au lycée Louis-le-Grand et à l'École central des arts et manufactures.
de Luynes, professeur au Conservatoire des arts et métiers.
Rochard, inspecteur général de la marine, membre de l'Académie de médecine.
Troost, professeur à la Faculté des sciences de Paris.

Japon.

M. Becquerel (Henri), ingénieur des ponts et chaussées.

Russie.

M. Okschewski (Thomas), ingénieur technologue de première classe, délégué par l'Expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.

Suède.

M. Thalen (T.-R.), professeur de physique à l'Université d'Upsala.

GROUPE IV. — CLASSES 1 ET 5.

Président.

M. le Dr Broch (O.-J.), ancien ministre, professeur à l'Université de Christiania. — (Norvège.)

Vice-présidents.

MM. Quet, inspecteur général de l'enseignement secondaire. — (France).
Stoletow (Alexandre), professeur de physique à l'Univer-

sité impériale de Moscou, délégué de la Société impériale des Amis des sciences naturelles et du Musée polytechnique de Moscou, conseiller d'État actuel. — (Russie.)

Rapporteur.

M. Moulton (J.-F.), FRS, à Londres. — (Grande-Bretagne.)

Membres.

Allemagne.

MM. le Dr Paalzow, professeur à l'École polytechnique supérieure à Berlin.
le Dr Wüllner, professeur, à Aix-la-Chapelle.

Belgique.

MM. Montigny, membre de l'Académie royale des sciences.
Pérard, professeur à l'Université de Liège.

France.

MM. Desains, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris.
Friedel, membre de l'Institut.
Angot, au Bureau central météorologique.
Bichat, maître de conférences à la Faculté des sciences de Nancy.
Lippmann, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.
Moutier, professeur de physique au collège Sainte-Barbe.
Pellat, professeur au lycée Louis-le-Grand.

Grande-Bretagne.

M. le Dr de la Rue (Warren), DCL, Ph. D, FRS, correspondant de l'Institut (Académie des sciences), à Londres.

Italie.

M. Roïti (Antoine), professeur à l'Institut royal des études supérieures, à Florence.

GROUPE V. — CLASSES 12 ET 13.

Président.

M. le Dr Militzer, conseiller de section au ministère impérial

et royal du commerce, membre correspondant de l'Académie des sciences de Vienne. — (Autriche.)

Vice-présidents.

MM. Mac Lean (T.-C.), lieutenant de la marine des États-Unis.
le comte du Moncel, membre de l'Institut.

Rapporteur.

M. Wolf, astronome titulaire de l'observatoire de Paris. — (France.)

Membres.

Allemagne.

M. le Dr Warburg, professeur à Fribourg en Brisgau.

Autriche.

M. le baron Joseph Engerth, ingénieur civil.

Belgique.

MM. Gody, architecte au département des travaux publics, membre secrétaire de la commission belge de l'Exposition d'électricité, à Bruxelles.
Gody, capitaine d'artillerie, professeur de physique et de chimie appliquée, à l'École de guerre.

États-Unis de l'Amérique du Nord.

M. Heap (David-P.), capitaine du génie à l'armée des États-Unis.

France.

MM. Lœwy, membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes.
le contre-amiral Mouchez, membre de l'Institut, membre de l'observatoire de Paris.
le colonel Perrier, membre de l'Institut.
Gaussin, ingénieur hydrographe en chef.
le colonel Goulier.
Marié Davy, directeur de l'observatoire météorologique de Montsouris.
Williot, chef du service technique du sous-directeur des travaux de Paris.

Grande-Bretagne.

M. Stroh (A.), ancien constructeur-mécanicien.

Hongrie.

M. le comte Théodore Zichy, secrétaire d'ambassade de S. M. I. et R. Apostolique.

Pays-Bas.

M. Van der Vegte (Z.), inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques.

Russie.

M. Walberg, général-major du génie.

SECRÉTARIAT.

Groupe I.

MM. Gidel, élève-ingénieur des télégraphes.
de Nerville, élève-ingénieur des télégraphes.

Groupe II.

MM. Massin, élève-ingénieur des télégraphes.
Thomas, élève-ingénieur des télégraphes.

Groupe III.

MM. de la Touanne, élève-ingénieur des télégraphes.
Schæffer, élève-ingénieur des télégraphes.

Groupe IV.

MM. Guerville, élève-ingénieur des télégraphes.
Consigny, élève-ingénieur des télégraphes.

Groupe V.

MM. Durègne, élève-ingénieur des télégraphes.
Gailho, élève-ingénieur des télégraphes.

BIBLIOGRAPHIE.

Étude des dérangements de l'appareil Hughes (1 vol. in-8°, chez Hayez, 16, rue de l'Orangerie, à Bruxelles).

Sous ce titre, M. Ed. Buels, fonctionnaire des télégraphes belges, vient de publier un livre qui sera d'une grande utilité pour toutes les personnes qui ont à se servir de l'appareil imprimeur Hughes.

L'auteur consacre un chapitre spécial à chacun des organes principaux de l'appareil, et fait une étude approfondie et raisonnée des dérangements auxquels ces pièces sont sujettes. Il examine et définit le caractère particulier de chaque dérangement, en indiquant sous quels aspects il se présente. Il fournit ainsi aux opérateurs des données précieuses qui leur permettront de déterminer promptement tous les défauts, tant électriques que mécaniques, qui nuisent au fonctionnement régulier du système.

La partie synchronique de l'appareil, comprenant la tige vibrante et le frein, font particulièrement l'objet de deux chapitres très étudiés.

Toutes ces questions sont traitées sous une forme claire et simple qui dénote chez l'auteur beaucoup de compétence dans la matière et une grande expérience pratique.

GÉRARD.

L'Électricité et ses applications. Paris, Lahure, imprimeur-éditeur.

A l'occasion de l'Exposition internationale d'électricité, le comité d'organisation a décidé qu'une brochure serait publiée pour mettre le public à même de comprendre les différentes applications qui doivent lui être présentées. Cette brochure est divisée en 14 parties, savoir :

1° Électricité et magnétisme, par M. Ed. Becquerel.

2° Électricité statique, par M. Mascart.
3° Piles électriques, par M. Henri Becquerel.
4° Les machines magnéto-électriques, par M. Antoine Bréguet.
5° Transmission de l'électricité, fils, câbles, paratonnerres par M. Clérac.
6° Électrométrie, par M. J. Raynaud.
7° Télégraphie, signaux, par M. E. E. Blavier.
8° Téléphonie, microphonie, photophonie, par M. Armengaud jeune.
9° Lumière électrique, par M. Hippolyte Fontaine.
10° Moteurs électriques, par M. Hippolyte Fontaine.
11° Électro-physiologie et électro-thérapie, par M. Paul Bert.
12° Électro-chimie, par M. Henri Becquerel.
13° Instruments de précision, par MM. Marcel Deprez et Sebert.
14° Moteurs et transmissions, par M. Hippolyte Fontaine.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie Arnous de Rivière, 26, rue Racine

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1881 Septembre-Octobre.

DE L'INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE SUR LES GRANDES LIGNES SOUTERRAINES.

Nous trouvons dans l'*Archiv fur Post und télégraphie* quelques détails intéressants sur la façon dont se comportent les grandes lignes souterraines d'Allemagne par les temps d'orage. Les observations faites à ce sujet portent sur deux catégories de lignes :

1° Les lignes souterraines qui ont un fil de terre commun avec des lignes aériennes sont les plus influencées, ce à quoi on devait naturellement s'attendre. Il est clair en effet, que les décharges qni s'effectuent sur ces dernières lignes doivent se bifurquer, une partie s'écoulant directement à la terre, l'autre partie se rendant par dérivation dans le câble qui se trouve d'autant plus exposé que la communication avec la terre est moins bonne.

2° Les lignes souterraines munies de fils de terre spé-

ciaux ne sont pas complètement à l'abri des perturbations causées par l'état électrique de l'atmosphère. On conçoit en effet, que la présence d'un orage au-dessus d'un poste produisant des variations dans le potentiel de la terre en ce point, engendre in différemment des courants dans les fils aériens ou souterrains qui prennent terre dans le poste. Il paraît plus difficile d'expliquer l'influence d'un orage qui vient à se produire au-dessus d'une ligne souterraine, mais assez loin de ses extrémités pour ne pouvoir y réagir sur l'état électrique de la terre. On verra d'ailleurs que le nombre des cas où cette dernière catégorie de perturbations a été observée est extrêmement faible. L. T.

Voici comment l'*Archiv fur Post und télégraphie*, rend compte des phénomènes observés :

« Dès 1879, les observations ont montré que les dérangements sur les lignes souterraines se produisaient toujours simultanément avec des dérangements sur les lignes aériennes, mais que leur importance était bien moindre sur les premières.

« Les effets de l'électricité atmosphérique sur les lignes souterraines variaient suivant que ces lignes étaient en repos ou en service, et selon que le service s'y faisait avec des appareils polarisés ou non. Sur les lignes inoccupées, cette influence se traduisait par le passage dans les appareils d'un courant spontané ; sur les lignes traversées par des courants télégraphiques, on voyait ces courants tantôt renforcés, tantôt contrariés.

« L'action perturbatrice était plus sensible sur les fils desservis par un Hughes (appareil polarisé) que sur les fils desservis par un appareil Morse (appareil non pola-

risé). Au Hughes, il sortait des lettres fausses ; certaines lettres, et même des mots entiers manquaient. Au Morse, les signaux ne manquaient qu'isolément. La ligne étant au repos, il arrivait souvent que la palette du Hughes était repoussée et celle du Morse attirée. Souvent aussi on remarquait des oscillations de l'aiguille des galvanoscopes. Enfin, lorsqu'il se produisait dans le voisinage du poste de fortes décharges atmosphériques, on observait dans les paratonnerres des crépitements accompagnés d'étincelles.

« L'influence de l'électricité atmosphérique se faisait surtout sentir lorsque l'orage éclatait dans le voisinage des points où les fils souterrains étaient en communication avec la terre, c'est-à-dire dans les postes extrêmes ou dans les postes translateurs. Cependant, on l'observa aussi dans des cas où le centre d'action était éloigné de ces points. Ces effets se produisaient aussi bien lorsque les nuages orageux croisaient la ligne que lorsqu'ils la longeaient. Enfin, il arriva quelquefois que les phénomènes provoqués par l'électricité atmosphérique ne furent observés qu'à une extrémité de la ligne, l'autre extrémité n'étant le siège d'aucun dérangement.

« Un cas observé en 1879, dans lequel les fils de terre jouaient sans doute un rôle, mérite une attention particulière. Pendant un orage très violent qui se forma à l'une des extrémités d'une ligne souterraine et qui donna lieu à des décharges fréquentes et violentes, tous les appareils en communication avec les fils aériens qui pénétraient dans le bureau où l'observation fut faite durent cesser de fonctionner. Il y eut passage d'étincelles aux paratonnerres; deux lames y furent même fondues en une seule; une bobine de résistance fut endommagée. L'orage suivait presque le tracé de la ligne souterraine.

Au début, l'influence sur cette ligne fut presque nulle, de sorte qne le service put y être continué. Tout à coup, cependant, l'appareil Morse, relié à l'un des fils souterrains se trouva isolé, et l'on découvrit qu'il avait été endommagé par un coup de foudre. D'après les renseignements donnés par le bureau, il se produisait pendant l'orage des décharges incessantes et violentes d'électricité atmosphérique, et, au moment même, à peu près, où l'appareil Morse se trouva détérioré, la foudre tombait sur un bâtiment situé à 5 mètres de la ligne souterraine. Il convient de rapporter aussi que la ligne souterraine avait un fil de terre commun avec quelques fils aériens. Ce fil de terre consistait à l'intérieur du bureau en un seul brin de cuivre de $1^{mm},7$ d'épaisseur. Or le galvanoscope de l'un des fils aériens aboutissant à cette terre commune fut trouvé endommagé par la foudre. Il n'y a presque pas de doute que l'insuffisance du fil de terre ait été la cause de l'accident survenu à l'appareil Morse qui desservait le fil souterrain ; il est probable, en effet, que l'électricité des lignes aériennes, en s'écoulant à la terre, fit par dérivation refluer des courants dans la ligne souterraine.

« Les observations faites en 1879 engagèrent l'administration allemande à prendre des mesures pour que tous les bureaux où les lignes souterraines sont en relation avec la terre, soit pour le service local, soit pour établir une translation, fussent pourvus de fils de terre servant exclusivement aux lignes souterraines et installés d'une façon aussi parfaite que possible. En même temps, elle ordonna pour 1880 la continuation des observations. Les derniers faits ont confirmé dans leur essence les résultats obtenus précédemment et n'ont pas mis au jour de phénomènes nouveaux. Les observations sont au nombre de

1996. Il faut remarquer cependant qu'il n'a pas été observé 1996 orages différents, mais que souvent les mêmes orages ont été observés par plusieurs bureaux, de sorte que le même orage s'est trouvé noté plusieurs fois. Sur ces 1996 orages, 516 ont eu lieu au-dessus des points où les lignes souterraines sont en communication avec la terre et 1480 entre ces points. Parmi les 516 orages ayant eu lieu au-dessus d'un fil de terre, l'effet de 113 orages (soit 21,88 p. 100) a été observé sur l'une des extrémités seulement de la ligne souterraine influencée, et celui de 50 orages (soit 9,69 p. 100) simultanément sur les deux extrémités de la ligne. Parmi les 1480 orages qui ont eu lieu entre deux postes possédant des fils de terre, 36 (soit 2,43 p. 100) n'ont été observés qu'à une des extrémités et 35 (soit 2,35 p. 100), aux deux extrémités de la ligne influencée. 1762 orages (soit 88,28 p. 100 de l'ensemble des orages observés) ont été sans aucune influence sur le service des lignes souterraines..

« En toutes circonstances l'effet simultanément observé sur les lignes aériennes a été beaucoup plus considérable. Tandis que ces dernières, lors des orages, durent souvent être mises directement à la terre, le service put être continué sur les lignes souterraines, bien qu'avec plus ou moins de difficultés ; mais, jamais la communication n'a dû être suspendue complètement sur les fils souterrains, même dans certains cas où, sur les lignes aériennes, il y eut passage d'étincelles aux paratonnerres et détérioration des appareils, l'effet sur les fils souterrains resta faible et souvent à peine sensible.

« Nous allons citer quelques-unes des observations intéressantes faites en 1880.

« Plusieurs orages violents se formèrent simultanément dans un lieu situé entre deux fils de terre, un bâtiment

fût brûlé à la suite d'un coup de foudre, une cheminée fût réduite en poussière et un poteau télégraphique fendu en éclats ; la ligne souterraine ne ressentit aucun effet de nature à troubler le service.

« Dans un autre lieu où la ligne souterraine prenait terre, la foudre tomba sur le paratonnerre de la tour de l'Hôtel de Ville. Les lignes aériennes qui se trouvaient en communication avec la terre du poste furent très fortement influencées par suite des décharges orageuses et durent en partie cesser leur service ; un fil de poste en relation avec un de ces fils fut même endommagé par la foudre. On observa au paratonnerre de la ligne souterraine deux fortes décharges, dont l'une produisit la fusion d'une pointe. Cependant cette décharge ne se manifesta sur la ligne souterraine elle-même qu'en imprimant des mouvements violents aux appareils influencés.

« Dans plusieurs bureaux où les lignes souterraines avaient des fils de terre, les aiguilles des galvanoscopes furent désaimantées par les décharges des orages, sans que cependant ces lignes parûssent ressentir d'autres influences nuisibles au service.

« Dans un bureau important au-dessus duquel se formèrent plusieurs orages qui causaient des dérangements sur les lignes aériennes, on put, pendant la durée même du temps orageux, exécuter sans trouble des mesures électriques portant sur l'isolement, la résistance et la charges des fils souterrains.

« On a même pu, sans difficulté, étudier des défauts sur les lignes souterraines, tandis qu'au lieu même où se faisaient les mesures, et en d'autres points, des orages troublaient le service des lignes aériennes.

« On peut conclure de ce qui précède que l'influence de l'électricité atmosphérique sur les lignes souterraines

n'est pas aussi sensible qu'on le croit généralement, et que, si influence il y a, ses effets ne sont que d'importance secondaire.

« Les lignes souterraines sont à l'abri des décharges directes; elles ne peuvent donc être endommagées par la foudre. Même dans le cas où, par suite de communications à la terre défectueuses, des courants dérivés, provenant des lignes aériennes, viendraient à passer dans les fils souterrains, ces fils seront toujours protégés par les appareils se trouvant dans le circuit et notamment par les paratonnerres. Il en résulte que, sous ce rapport aussi, les lignes souterraines offrent de grands avantages relativement aux lignes aériennes. »

TRANSMISSION A TRAVERS LES CABLES.

RÉCEPTEURS ÉLECTRO-PHOTOGRAPHIQUES.

L'idée d'enregistrer par les procédés photographiques les indications d'un appareil n'est pas nouvelle, elle est appliquée depuis longtemps dans les observatoires météorologiques et magnétiques ; on n'en a pas encore tiré parti en télégraphie où elle pourrait peut-être rendre des services surtout pour la transmission à travers les câbles sous-marins qui exigent des courants très faibles. M. Bardonnaut, directeur des postes et télégraphes de la Seine-Inférieure, nous a transmis à ce sujet une note que nous reproduisons, en la faisant suivre de la description d'un appareil imaginé par M. Chameroy et qui figurait à l'exposition internationale d'électricité.

I

NOTE DE M. BARDONNAUT.

La télégraphie à bon marché étant désormais le problème à l'ordre du jour, on est naturellement amené à examiner les causes pour lesquelles la vitesse de transmission à travers les longs câbles, les câbles atlantiques par exemple, est limitée à 18 ou 20 mots par minute, et à rechercher les moyens d'augmenter leur rendement.

Il semble prouvé par l'expérience que la charge induite dans un câble muni de condensateurs à ses deux extré-

mités, peut par ses variations produire, par minute, sur un miroir, un nombre d'oscillations supérieur à celui nécessaire à la transmission de 20 mots (environ 100 oscillations).

La limite de la vitesse de transmission à travers un câble tient donc à deux causes :

1° Au peu de rapidité que l'on peut obtenir dans le mouvement du manipulateur à deux clefs par le jeu de la main ;

2° A la difficulté de lire des signaux qui seraient produits par des éclairs se succédant très rapidement.

En ce qui concerne la manipulation, le problème à résoudre ne semble pas très compliqué, et rien n'empêcherait d'adopter, par exemple, un système analogue à celui du manipulateur automatique de Wheatstone, de perforer les dépêches, et d'assurer le passage sur le condensateur de départ, de deux charges différentes par le jeu de deux aiguilles mobiles à travers les trous du papier.

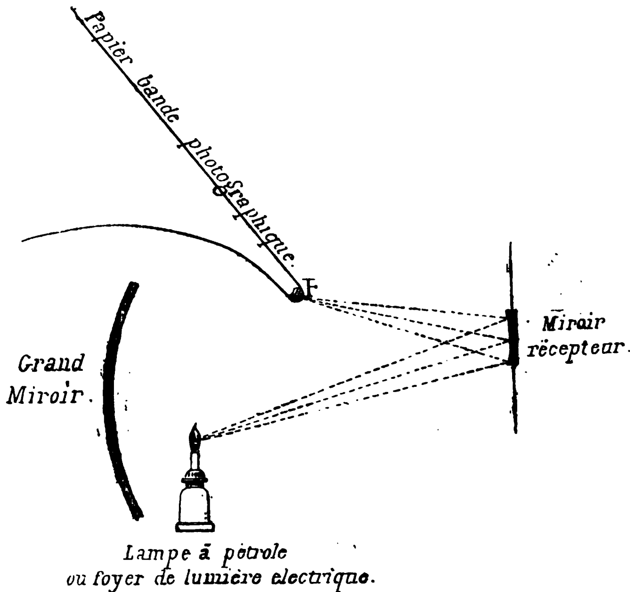
Reste la question de réception automatique.

M. Thomson a imaginé pour cet objet le siphon enregistreur, mais, cet ingénieux appareil n'est pas jusqu'à présent, entré dans le domaine de la pratique, et il ne paraît pas pouvoir donner une vitesse de réception hors de proportion avec celle obtenue par la lecture directe.

Nous avons pensé qu'il serait possible d'obtenir le résultat désiré en modifiant la forme du miroir plan jusqu'ici adopté, et employant un miroir sphérique ou parabolique, à long foyer (voir la *fig.* 1) ; les signaux seraient reçus sur une bande de papier photographique mobile, autour d'un axe F, coïncidant avec *le lieu des foyers du miroir pendant son mouvement d'oscillation.* Cette bande de papier ne recevrait la lumière que par une fente longitudinale normale à sa direction.

Les rayons lumineux, toujours concentrés en F, se porteraient à droite et à gauche et, par leur action sur le

Fig. 1.



papier photographique en mouvement, produiraient une trace noire qui remplacerait exactement la courbe des signaux du siphon enregistreur de M. Thomson : plus la vitesse du papier serait grande, plus les signaux seraient nets, le papier n'ayant pas, dans son mouvement, le temps de se décomposer ailleurs que là où il serait sous l'influence du foyer lumineux mobile avec le miroir.

Les difficultés de construction que peut présenter un appareil construit sur ce principe, appareil qui diffère du miroir ordinaire, par l'emploi d'un miroir à surface courbe et d'une bande de papier photographique, ne paraissent pas de nature à arrêter les ingénieurs constructeurs qui

se livrent à la fabrication des appareils délicats que comporte aujourd'hui la science électrique.

II

APPAREIL DE M. HIPPOLYTE CHAMEROY.

Les signaux sont produits par le passage de rayons lumineux concentrés dans un orifice, et par l'application nouvelle d'un *obturateur oscillant* au moyen d'un galvanomètre qui reçoit le courant transmis par le câble.

Ces intermittences de rayons lumineux sont recueillis sur des bandes de papier spécialement sensibilisées, soit au nitrate d'argent, soit au mono-sulfure de calcium.

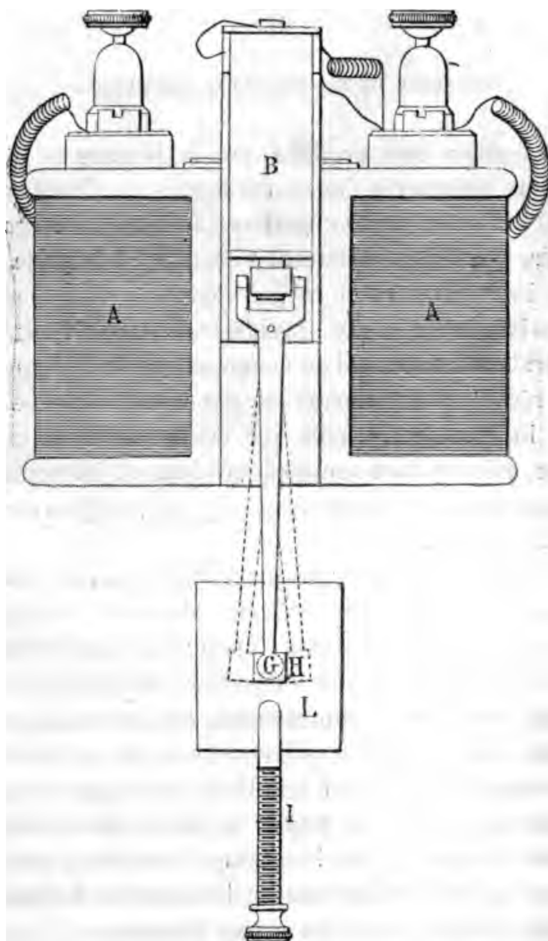
La réception des signaux sur papier au nitrate se conserve indéfiniment, tandis que sur le papier au monosulfure, elle ne dure que quelques heures. La lecture en est, dans ce cas, instantanée et apparaît phosphorescente dans l'obscurité.

Les figures 2 et 3 représentent l'appareil; le courant venant de la ligne traverse l'électro-aimant B, et le galvanomètre A dont les actions s'ajoutent et font dévier un petit aimant central. Cette déviation est transmise par une tige légère et un obturateur C, qui, en se mouvant, découvre un petit orifice que traversent les rayons lumineux, concentrés par une lentille L. Ces rayons viennent agir sur une bande de papier préparée qui se déroule derrière l'orifice. Si l'on interrompt le courant, l'aimant reprend sa position normale, et l'obturateur fermant de nouveau l'orifice, arrête les rayons lumineux.

Tous les courants successifs envoyés viennent donc agir sur la feuille de papier préparée qui conserve la trace des signaux reçus.

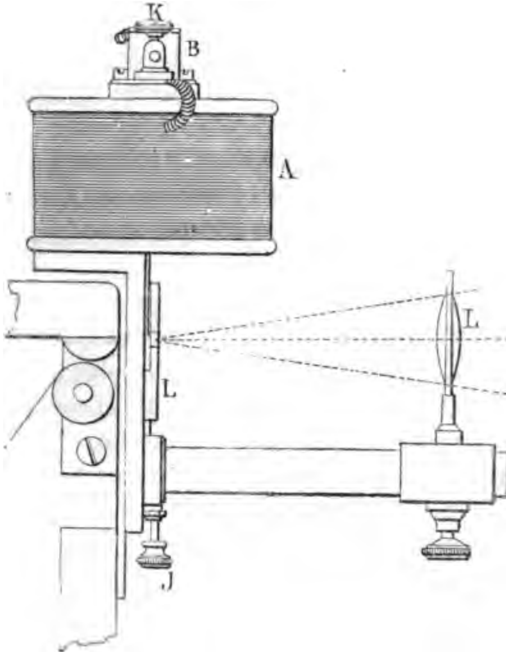
Par son extrême sensibilité cet appareil donne des résultats qui paraissent supérieurs à ceux obtenus jusqu'à ce jour. Il remplace, avec grand avantage, la lecture au miroir qui en est lente et très pénible.

Fig. 2.



Les signaux peuvent être conservés indéfiniment au nitrate d'argent, ou conservés phosphorescents quelques

Fig. 2.



heures, tout en donnant une vitesse de transmission bien supérieure au miroir.

Les résultats comme vitesse de transmission sont remarquables ; on peut apprécier les centièmes de seconde avec le papier au nitrate d'argent. Les bandes de papier sont mues par un mouvement d'horlogerie ; elles passent dans un bain révélateur et sont fixées après, par les procédés ordinaires de la photographie.

NOTE

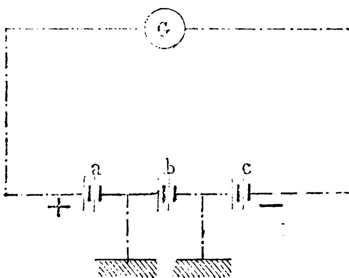
SUR L'ISOLEMENT DES PILES.

Les piles, surtout dans les bureaux télégraphiques, sont rarement bien isolées et, par conséquent, elles ne donnent pas toute la force qu'on pourrait en retirer ; de plus, ce mauvais isolement rend le courant variable, et crée des difficultés dont l'existence est souvent attribuée par les employés à d'autres causes telles que le mauvais état des lignes, des appareils ou même le plus souvent des éléments ; on met ainsi de côté des piles encore bonnes et dont le seul défaut était d'être mal isolées.

Le procédé habituellement employé dans les essais pour la détermination de la force électro-motrice d'une batterie comparée à celle d'un élément, peut au besoin indiquer un mauvais isolement de la pile, s'il y a plusieurs pertes à la terre.

Il est évident que s'il y a par exemple deux pertes à la terre (*fig.* 1), la partie *b* donnera peu ou point de courant utilisable et que l'intensité indiquée par le galvanomètre G se rapportera seulement à la somme des parties *a* et *c* et à une partie plus ou moins grande de *b*. Dans ce cas, la com-

Fig. 1.



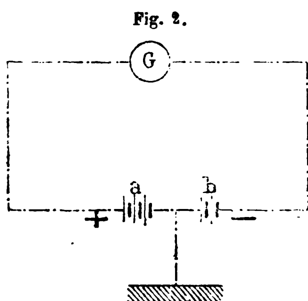
paraison par la faible force électro-motrice trouvée, indiquera l'existence de pertes.

Mais, ce procédé suppose que tous les éléments ont la même force électro-motrice, il pourrait donc se faire que cette différence de force dans les éléments fasse croire à l'existence de pertes n'existant pas; de plus, cette manière d'opérer exige des instruments et une pratique des essais qu'on ne rencontre pas toujours dans les bureaux.

Enfin, la méthode est fausse dans le cas d'une seule perte à la terre dans la pile.

En effet, on voit (*fig.* 2) que malgré la perte, le galvanomètre G indiquera la même intensité que si elle n'existait pas; car dans le premier cas, les deux parties *a* et *b* agissent comme deux piles séparées dont les courants s'ajoutent comme sur les lignes à courant continu, tandis que dans le second cas, la pile totale agit en circuit simple sans terre et donne la même déviation.

Fig. 2.



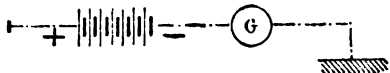
C'est pour éviter ces inconvénients, qu'il y a déjà quelques temps, j'ai imaginé un autre procédé que je crois nouveau et que j'ai souvent employé et recommandé dans les bureaux, car il est simple, n'exige aucun instrument spécial pour constater l'existence des pertes et surtout parce qu'il ne peut induire en erreur sur cette existence.

Voici comment on doit opérer :

On isole la pile au pôle qui se rend dans les bureaux, par exemple, au pôle positif et près de la pile, puis entre l'autre pôle et la terre, on intercale un galvanomètre G

(*fig.* 3). Si le galvanomètre dévie, c'est qu'il existe une ou plusieurs pertes à la terre dans la pile et la déviation est d'autant plus forte que les pertes sont plus fortes ou situées plus loin du galvanomètre.

Fig. 8.



Souvent on se contente de constater l'existence des pertes; l'habitude et la connaissance du galvanomètre employé suffisent pour juger si ces pertes sont assez fortes pour nécessiter une nouvelle installation de la pile, et c'est ce qui arrive le plus souvent dans la pratique des bureaux télégraphiques, d'autant plus, qu'on peut facilement déterminer l'endroit des pertes. Pour cela, il suffit d'isoler à partir du pôle positif, chaque élément successivement jusqu'à ce que la déviation disparaisse; si elle diminue lentement par saccades, il y a plusieurs pertes dont les positions sont ainsi déterminées; s'il n'y a qu'une perte, la déviation cesse tout d'un coup et le galvanomètre revient à zéro.

Si on veut connaître la valeur des pertes et si on possède les instruments nécessaires, on opère comme suit :

On intercale entre le pôle négatif et le galvanomètre, une boîte de résistance, à l'aide de laquelle on réduit la déviation du galvanomètre à la moitié, par exemple, soit r la résistance ajoutée, et g celle du galvanomètre, on a alors pour la résistance des pertes :

$$r = x + g + \rho$$

$x =$ résistance des pertes
$g =$ » » galvanomètre
$\rho =$ » » éléments agissant

d'où

$$x = r - g - \rho$$

mais ces pertes sont généralement très résistantes, sans quoi on les apercevrait sans essais, alors on peut presque toujours supprimer g et c devant r et il reste

$$x = r$$

soit maintenant e la force électro-motrice des éléments donnant lieu à la déviation due aux pertes, on a évidemment

$$e = i\,r = ix;$$

si on a un galvanomètre d'intensité, i et r étant connu E l'est également. Si E est la force électro-motrice de la pile à l'état normal et R la résistance du circuit télégraphique, l'intensité disponible sur la ligne sera $I = \frac{E - e}{R}$ et par suite le rendement pratique $\frac{E - e}{R}$.

Émile LACOINE.

Constantinople, 28 septembre 1881.

TRANSMISSION SIMULTANÉE

DE DEUX DÉPÊCHES EN SENS CONTRAIRE

PAR LE MÊME FIL CONDUCTEUR.

On sait qu'il existe deux méthodes habituellement employées pour réaliser la transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire par le même fil : la première dite *méthode différentielle* consiste à former le fil des bobines des électro-aimants de deux fils semblables enroulés en sens opposé ; dans l'autre dite *méthode du pont de Wheatstone* les récepteurs sont placés sur la diagonale d'un pont de Wheatstone et ne fonctionnent que sous l'influence du courant venant de l'autre station.

Plusieurs autres dispositions peuvent être employées pour arriver au même résultat : les trois suivantes figuraient à l'exposition internationale d'électricité.

I.

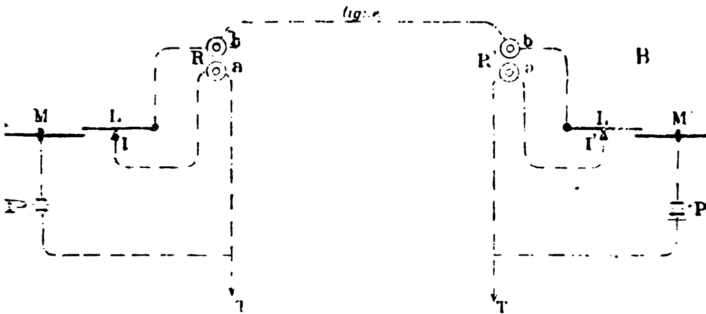
SYSTÈME DE M. FUCHS.

En Allemagne, on adopte la disposition suivante, due à M. Fuchs, qui donne de bons résultats sur les lignes auxquelles elle est appliquée.

Soient deux postes A et B installés comme l'indique la figure 1, les manipulateurs M et M′ comprenant deux leviers, l'un d'eux relié par son point d'oscillation à la pile P ou P′ et l'autre, L ou L′, reposant sur un butoir

qu'il quitte lorsqu'il est soulevé par le premier. Ce second levier est relié à chaque poste à la ligne, par l'intermédiaire d'une des bobines *b* ou *b'* de chacun des récepteurs

Fig. 1.



R ou R'; les butoirs I ou I' sont reliés aux secondes bobines *a* ou *a'*, qui d'autre part communiquent avec la terre en T ou T'; enfin les piles P et P' sont reliés à la terre par leurs pôles de noms contraire.

Si l'on abaisse le manipulateur M, il soulève le levier L; le courant de la pile P traverse la bobine *b* du récepteur R, la ligne, les deux bobines *b'* et *a'* du récepteur R' et se rend à la terre. L'armature des récepteurs étant réglée de façon à ne pas être attirée sous l'influence de l'attraction d'une seule bobine, le récepteur R' du poste B fonctionne seul. De même lorsque B transmet le récepteur du poste A fonctionne seul. Si les deux postes sont ensemble sur contact, une seule des bobines est parcourue à chacun des postes par le courant, mais les deux piles s'ajoutent et l'action qui en résulte est la même que lorsque les deux bobines sont traversées par le courant du correspondant, les deux récepteurs fonctionnent simultanément.

II.

SYSTÈME DE M. ORDUNA Y MUNOZ.

La disposition suivante due à M. Orduna y Munoz a été appliquée en Espagne sur la ligne de Madrid à Valladolid (*).

Supposons un appareil Morse ordinaire dont les bobines sont séparées et indépendantes (*fig.* 2), la bobine A étant neutre et la bobine B polarisée par un aimant S; la bobine A peut en outre s'approcher plus ou moins de l'armature

Fig. 2.

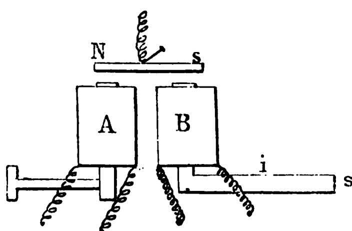
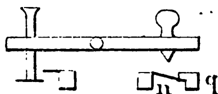


Fig. 3.



au moyen d'une vis à crémaillère : tel est l'appareil récepteur.

Quant au transmetteur ou manipulateur, il consiste en une clé Morse ordinaire, sauf cette seule différence que cette clé, dans son mouvement, se met simultanément en contact avec deux ressorts en acier et par là même interrompt le contact de l'un d'eux *n*, avec la pièce *q*.

Considérons à présent deux stations A, B, se trouvant en communication, comme l'indique la *fig.* 4 avec 4 piles, deux de ligne P et P′ et deux locales *p* et *p*′. En état

(*) Extrait d'une Note de M. Orduna y Munoz.

e repos nous observerons que les deux courants positifs es piles de ligne se trouvent en face l'un de l'autre et

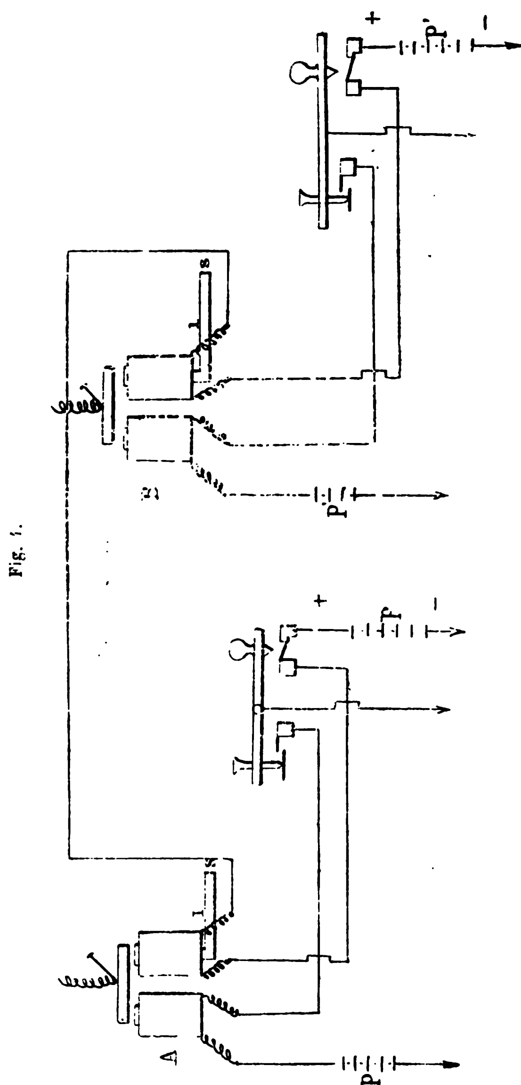


Fig. 1.

se détruisent sans produire aucun effet dans les bobines polarisées ; pourtant, l'armature est attirée par l'aimant *i*, mais on détruit cette attraction au moyen du ressort de rappel qui ramène l'armature à sa position de repos.

Supposons que la station A abaisse son manipulateur: le courant de P' arrive par la ligne à la bobine polarisée et produit une désaimantation, tandis que le courant local de *p* passe par la bobine neutre et produit une aimantation.

Il est évident que si le ressort de rappel est suffisamment tendu pour détruire l'attraction magnétique naturelle de l'aimant *i*, en détruisant celle-ci et la remplaçant par une autre de même force, l'armature ne bougera pas. Nous obtenons ainsi la première condition indispensable.

Voyons ce qui se passe à la station B : le courant de *p'* étant entré dans la bobine polarisée en sens contraire de celui avec lequel il l'a fait dans la station A favorise l'action de l'aimant ; par suite l'armature est attirée et produit le signal.

Les choses étant en cet état, si la station B envoie à son tour un signal, le courant de ligne est interrompu et remplacé par le courant local qui tient l'armature attirée. Dans la station A l'action du courant local s'ajoute à l'attraction magnétique naturelle de l'aimant. Le signal émis par B se reproduit en A et donne lieu au signal simultané.

Le signal simple est produit par l'influence de l'aimant ajouté à l'action du courant de ligne ; le signal simultané l'est par l'influence de l'aimant ajoutée à l'action du courant local.

Il en résulte donc que si nous supposons que les deux courants ont la même intensité d'après les différents cir-

cuits qu'ils parcourent, les signaux simples et simultanés se feront avec les mêmes conditions. Dans le cas où la résistance de la ligne viendrait à varier pendant la transmission du signal, on n'aurait qu'à approcher ou à éloigner convenablement la bobine neutre pour établir la balance entre la force locale et la force de ligne. Le signal simultané se fait donc sans aucune intervention de la ligne, ce qui est un grand avantage.

Par cette disposition, on peut arriver à transmettre directement une dépêche dans une ligne de 4 à 500 kilomètres sans que la décharge soit sensible, cela dépend de l'état d'isolement et de la section du conducteur. En interposant à cette distance dans le circuit un translateur de ce système, on peut arriver à transmettre une dépêche à une distance de 800 à 1000 kilomètres.

Pour arriver à transmettre une dépêche directement à n'importe quelle distance, sans avoir besoin de translateur ou de condensateur aux extrémités de la ligne, il faut prendre les dispositions qu'indique la *fig.* 5.

Ici les manipulateurs sont aussi simples : la seule différence consiste en ce que la vis *m* s'appuie à l'état de repos sur un ressort et qu'elle est isolée de la clé. Un autre ressort *n* se trouve au-dessous de la clé.

Cela convenu, supposons que deux stations A et B se trouvent en communication, comme il a été dit, sans piles locales, mais seulement avec deux piles de ligne dont les pôles sont intervertis.

En suivant la marche des courants, on voit que dans ce cas la transmission des signaux simples dépend de ce que dans la station réceptrice le courant actionne les deux bobines et produit ainsi une double force d'attraction, tandis qu'il n'actionne qu'une seule bobine dans la sta-

tion expéditrice et qu'à cette dernière le ressort de rap
doit être tendu autant qu'il est nécessaire pour que l'a

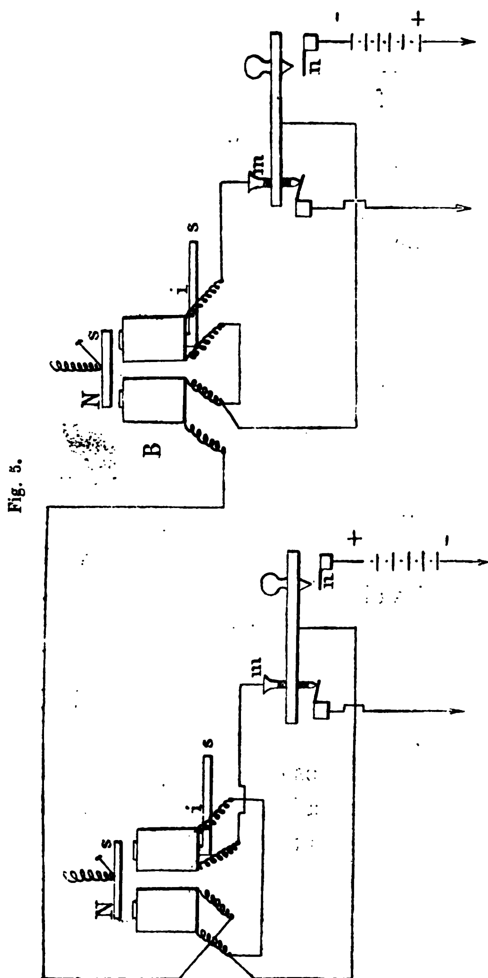


Fig. 5.

mature soit immobile au moment où se produit le sig
simple.

Le signal simultané se produit par la double intensité de la double pile.

La différence de force remplace ainsi la force d'attraction des bobines qui, dans ce cas, sont en dehors du circuit.

Dans cet état de choses, comme la décharge ne peut avoir lieu qu'au moment où l'on revient à la position de repos, le courant positif qui se dirige sur la station A passe par les deux bobines et produit dans le noyau de la bobine neutre une aimantation. Donc le pôle nord se trouve en face du pôle nord de l'armature et donne lieu à une répulsion ; en même temps, dans l'autre bobine se produit une désaimantation qui vient favoriser la position de repos de l'armature. Il en est de même dans l'autre station, car, bien que le courant soit négatif, il agit sur les bobines d'une façon semblable, à cause de la disposition inversement symétrique de la marche des courants.

Le même résultat peut être obtenu en supprimant les aimants et en laissant les bobines neutres ; mais alors la décharge deviendrait sensible et l'on ne saurait employer cette disposition que dans des lignes d'une étendue très restreinte.

III.

SYSTÈME DE M. TOMMASI.

Signalons enfin le système exposé par M. Tommasi dans la section française, dont la figure 5 montre la disposition.

A chaque station se trouvent deux piles dont l'une a une force électro-motrice double de l'autre, et un rhéostat, dont la résistance est double de celle de l'électro-

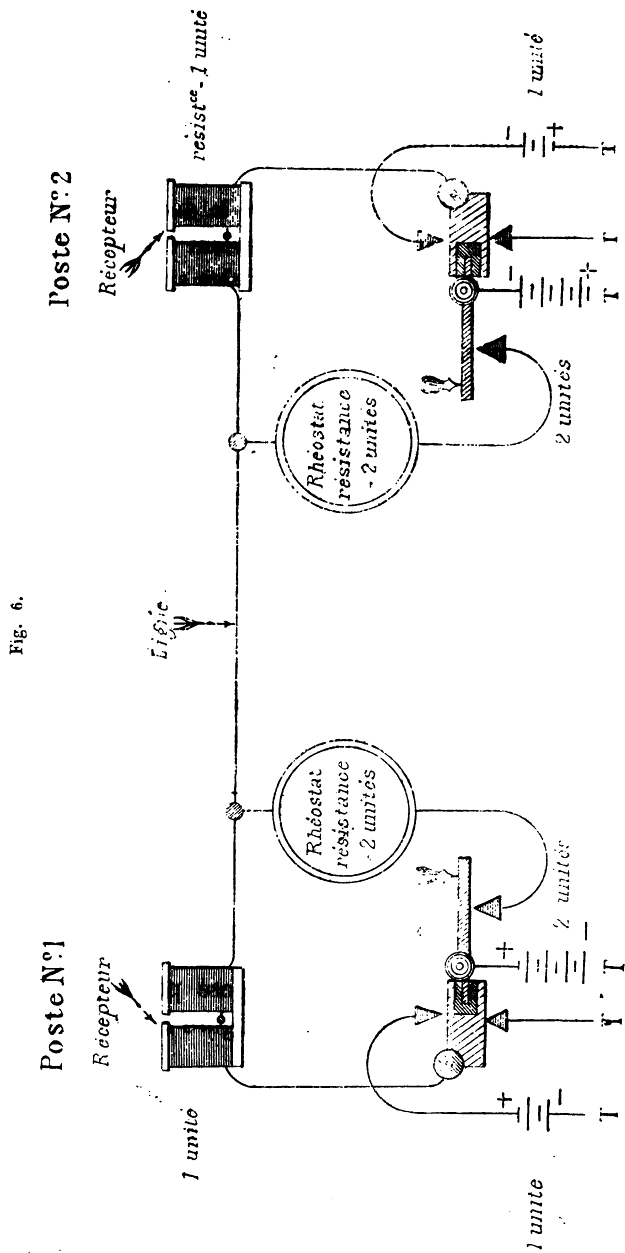

Poste N°1
Récepteur
1 unité
Rhéostat résistance 2 unités
Ligne
Poste N°2
Récepteur
résistce. 1 unité
Rheostat résistance 2 unités
2 unités
1 unité
T

Fig. 6.

aimant. Le manipulateur comporte une pièce isolée qui fait communiquer, à l'état de repos, la ligne à la terre; quand on abaisse l'un des manipulateurs, la pile d'une unité remplace la terre à la sortie du récepteur, et en même temps le courant produit par la pile deux unités, en traversant le rhéostat et la ligne va à la terre en traversant le récepteur du poste correspondant; le courant de cette pile traverse aussi le récepteur du poste de départ, mais elle ne l'actionne pas, les deux piles de 1 et 2 unités produisant des effets contraires qui s'annulent.

Lorsque les deux manipulateurs sont abaissés simultanément, le courant est doublé sur la ligne puisque les piles des deux postes ont leurs pôles contraires en relation avec la terre; le courant qui traverse l'appareil en venant du point de jonction de la ligne et du rhéostat est aussi doublé, tandis que l'autre courant, produit par la pile d'une unité, ne change pas de valeur; l'appareil continue donc à marcher.

Il convient toutefois d'observer qu'il y a entre les deux effets produits par le courant d'un poste sur l'appareil du correspondant, suivant que le manipulateur de celui-ci est sur contact ou à l'état de repos, une différence et d'autant plus grande que la ligne est plus longue et plus résistante. On conçoit néanmoins que cette différence ne nuise pas à la transmission si la ligne n'est pas très longue.

Le système de M. Tommasi marche bien dans les expériences de cabinet, et suivant une lettre de M. Delaitre, directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Ouest, a fonctionné régulièrement sur une ligne aérienne de 114 kilomètres, entre Mantes et Rouen.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS.

Le congrès international des électriciens, ouvert le 15 septembre dans la grande salle du premier étage du palais des Champs-Élysées aménagée à cet effet, a été clos le 15 novembre.

L'ouverture a été faite par M. le ministre des postes et des télégraphes, président du Congrès, qui a prononcé à cette occasion le discours suivant :

Messieurs,

En invitant toutes les nations à prendre part à notre exposition, en leur ouvrant les portes de ce congrès, nous avons obéi à la nécessité d'étendre le domaine de la science et de ses applications.

Notre but a été compris et accepté. Toutes les nations se sont empressées de répondre à notre appel. L'Europe entière est représentée dans cette enceinte. Les États-Unis d'Amérique y siègent. L'Amérique du Sud y occupe une place importante. Les divers Gouvernements nous ont envoyé leurs plus illustres savants; ils ont choisi des hommes que nous connaissions déjà par les éminents services qu'ils ont rendus à la cause du progrès.

Au nom de la France, je vous exprime toute notre gratitude.

Vous êtes les bienvenus!

La haute autorité de vos connaissances, votre grande expérience rendront facile la solution des questions qui vont s'imposer à vos délibérations.

Ces questions, je n'ai pas besoin de le dire, offrent un immense intérêt.

L'électricité, cet agent incomparable, s'asservit de plus en plus aux besoins modernes et promet des conquêtes illimitées.

Beaucoup a été fait. Mais combien ne reste-t-il pas à faire?

Si la science de l'électricité a un passé, si sa première manifestation, celle même qui lui a donné le nom qu'elle porte, remonte à une école philosophique de l'antiquité, il faut reconnaître que pendant de longs siècles, elle a été stérile; c'est qu'elle était circonscrite dans le domaine exclusif de la métaphysique.

Mais un jour est venu où la polémique de l'école a fait place à l'investigation expérimentale. Alors surgirent les premiers appareils électriques dont on faisait timidement jaillir quelques étincelles, image très affaiblie que la science naissante donnait du majestueux phénomène de la foudre.

Puis apparut la bouteille de Leyde dont les effets impressionnèrent si vivement les contemporains.

Franklin parvint à tirer l'éclair d'un nuage orageux et forgea le paratonnerre.

On savait produire l'électricité statique, Coulomb la mesura et en formula les lois; mais que de peine encore pour la retenir, pour la conserver!

Avec Galvani, avec Volta, le dix-neuvième siècle inaugure l'ère des découvertes décisives qui donnèrent l'élan au mouvement prodigieux auquel nous assistons. Dès l'année 1800, Volta construisit la pile: le courant électrique est trouvé et on peut constater l'électricité dans les actions chimiques; or l'électricité dans les actions chimiques, c'est déjà l'électricité partout.

Aussi, comme cette science se développe! les noms des initiateurs se présentent en foule à ma pensée: David, Œrsted, Ampère, Arago, Faraday, tant d'autres que je pourrais citer avec non moins de justice, posent les principes essentiels de l'électricité dynamique d'où vont sortir les progrès modernes. Les praticiens viennent à leur suite; ils s'emparent des révélations de la science, ils les fécondent et donnent au monde la télégraphie, la galvanoplastie, la lumière électrique, les applications médicales et chirurgicales, le transport de la force, son emmagasinement, la téléphonie.

On pressent facilement que nous ne sommes qu'au début des découvertes: celles qui naissent sous nos yeux sont merveilleuses, mais elles sont surtout pleines de promesses. Les inventions des praticiens deviennent à leur tour des éléments

précieux pour les recherches scientifiques, et l'industrie prête ainsi un concours essentiel aux savants.

C'est sous ces impressions que nous avons été conduits à ouvrir une exposition d'électricité et à réunir un congrès international de savants électriciens. Vous me permettrez, en cette circonstance, de ne pas oublier de rendre hommage à l'heureuse initiative de MM. de Freycinet et Varroy, mes anciens collègues, à celle de M. Sadi-Carnot, mon collègue actuel, qui ont eu leur bonne part dans cette œuvre. Nous avons la conscience d'avoir répondu aux intérêts et aux désirs de toutes les nations.

L'exposition et ce congrès auront le précieux avantage de soumettre au contrôle exact de la science et de l'expérience pratique des découvertes qui par le fait d'une publicité hâtive et prématurée, auraient parfois surpris l'imagination.

L'exposition internationale à laquelle nous assistons, la première qui ait été exclusivement consacrée à l'électricité, inscrira, grâce à vos travaux, sa date dans l'histoire de la science.

Elle se produit dans les meilleures conditions; pour s'en convaincre, il suffit de sortir de cette salle, de parcourir les galeries qui lui font suite, de descendre dans la nef centrale; il semble qu'on entre dans le laboratoire d'un magicien ; on va, à chaque pas, de surprise en surprise.

Ce sont là les conquêtes faites sur cette puissance jadis si capricieuse et si indomptée, aujourd'hui réduite à obéir au génie de l'homme.

Chaque pays a sa part de ses conquêtes, chaque pays également puisera dans le fonds commun une abondante récolte.

Il fallait un aéropage.

Il fallait instruire le public, discuter dans l'intérêt de la science les procédés et les résultats obtenus.

Ce sera l'œuvre du congrès.

Il vous appartient, Messieurs, et, permettez-moi de vous appeler aussi, chers collègues, il vous appartient de tirer des richesses accumulées dans ce Palais de l'Industrie tous les enseignements qu'elles contiennent, de déterminer les solutions qu'elles provoquent, de porter enfin le champ de vos investigations soit sur le terrain de l'industrie, soit sur le terrain de la science pure.

L'œuvre est grande. Vous êtes à la hauteur nécessaire pour l'accomplir.

C'est donc avec une entière confiance que je déclare ouvert le congrès international des électriciens.

Après ce discours qui a été, à différentes reprises, accueilli par les applaudissements réitérés de l'assemblée, M. le Président a présenté comme vice-Présidents français MM. Jules Ferry, Président du Conseil des Ministres et Sadi-Carnot, Ministre des travaux publics. Le troisième vice-Président, M. J.-B. Dumas, sénateur, membre de l'Académie française et secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, a été désigné dans la seconde séance du Congrès.

De leur côté, les délégués étrangers ont procédé à l'élection des trois vice-Présidents dont le décret d'organisation leur réservait la nomination et, sur la proposition de Lord Crawford, le commissaire général de la Grande-Bretagne à l'Exposition, ils ont élu, à cet effet, MM. Gilbert Govi, professeur de physique à l'Université de Naples, commissaire général de l'Italie à l'exposition internationale d'électricité ; le Docteur Helmholtz, conseiller intime du Gouvernement, à Berlin, et sir William Thomson, professeur à l'Université de Glasgow.

Dans la première réunion, le Congrès ne pouvait aborder les questions de fonds qui devaient faire l'objet de ses travaux et qui, pour la plupart, avaient besoin d'être préparées par le travail des commissions avant d'être discutées en séance plénière. Il s'est borné, en conséquence, à résoudre quelques questions préliminaires.

Ainsi, il a adopté pour régler l'ordre de ses travaux les dispositions suivantes qui, sauf quelques modifications de rédaction, sont la reproduction de la partie générale

du projet de programme préparé par une commission composée de membres français.

Le Congrès sera divisé en trois sections. Ces sections s'occuperont :

La première, des questions de physique, chimie, physiologie et, en général, de l'électricité au point de vue théorique;

La deuxième, des questions touchant à la télégraphie et aux chemins de fer ;

La troisième, des autres applications civiles ou militaires de l'électricité.

Les membres du Congrès pourront se faire inscrire chacun dans plusieurs sections.

Les séances de sections auront lieu à des heures différentes, afin de permettre à tous les membres d'y prendre part.

Les séances du Congrès comprendront :

1° Des séances plénières consacrées à la discussion des questions exigeant une entente internationale et comportant par suite un vote du Congrès ;

2° Des séances de sections, consacrées à l'exposé et à la discussion des questions présentant un intérêt spécial qui peuvent donner lieu utilement à un échange de vues ;

3° Des séances publiques, sous forme de conférences, dans lesquelles seront exposées, par les membres du Congrès, qui voudront bien en accepter la mission, quelques-unes des questions qui attirent en ce moment l'attention.

Quant au programme lui-même, le Congrès a décidé que ce seraient les sections elles-mêmes qui détermineraient les questions générales soumises aux séances plénières.

En ce qui concerne la publicité de ses travaux, l'assemblée a décidé qu'elle admettrait, dans ses séances plénières et dans ses séances de section, les savants étrangers au Congrès, avec voix consultative, et que les rédacteurs scientifiques des journaux pourraient, en outre, sous le contrôle du bureau, assister aux séances plénières.

Dans l'espace de trois semaines qu'a duré le Congrès, il a été tenu sept séances plénières; chacune des trois sections dont il était composé a eu de cinq à sept séances et quelques-unes des questions les plus importantes ont été en outre préparées par des commissions spéciales qui chacune se sont également réunies plusieurs fois. Nous nous bornerons à reproduire, d'après le journal télégraphique publié par le bureau international de Berne, un court résumé des questions qui ont été portées devant les séances plénières du Congrès.

Parmi les questions mises à l'ordre du jour du Congrès, l'une des plus importantes, sans contredit, était celle de l'unification des unités électriques. Elle figurait, effectivement, en première ligne sur le programme des séances plénières dont une commission composée de membres français avait préparé le projet, et voici en quels termes elle y avait été formulée :

Unités électriques.

Discussion des mesures à prendre pour arriver à l'adoption générale d'un système international d'unités électriques.

1° Nécessité d'une entente pour l'adoption générale d'un système international de mesures électriques;

2° Choix du système d'unités à adopter et des dénominations à leur donner;

3° Mesures à prendre pour l'établissement, la conservation et la reproduction des étalons internationaux ;

4° Ne convient-il pas de constituer, à cet effet, une commission internationale ?

5° Ne pourrait-on pas rattacher l'organisation de cette commission à celle du Bureau international des poids et mesures ?

Aussi, dès le début, la première section, après s'être constituée en choisissant pour Président M. J.-B. Dumas,

pour vice-Présidents, MM. Kirchhoff et Warren de la Rue, et pour Secrétaires MM. Mascard et Gérard (*), faisait-elle de l'unification des unités électriques l'objet d'une discussion générale et elle confiait ensuite l'examen et la préparation des résolutions à prendre à une commission spéciale dont le nombre et l'illustration des membres choisis attestent l'importance qu'elle attachait à la question (**).

Les résultats de ces délibérations se sont traduits par les sept résolutions suivantes qui, après avoir été sanctionnées par la première section, ont été ensuite adoptées à l'unanimité par le Congrès dans sa séance plénière du 21 septembre.

1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fon-

(*) Les bureaux des deux autres sections étaient composés ainsi qu'il suit :

2e section : Président d'honneur, M. le Ministre des postes et des télégraphes de France; président effectif, M. le Dr Militzer; vice-présidents, MM. Blavier et Elsasser; secrétaires, MM. Th. Rothen et Orduna y Muñoz;

3e section : Président, d'abord, M. Spottiswoode, puis, après son départ, M. Hughes; vice-présidents, MM. E. Becquerel et Belpaire; secrétaires, MM. Egoroff et le lieutenant-colonel Sebert.

(**) Voici la liste des membres de cette Commission qui, du 16 au 21 septembre, s'est réunie quatre fois et que M. Dumas, le Président de la section, a tenu à honneur de présider lui-même.

MM. Clausius, Förster, Helmholtz, Werner Siemens, Wiedemann, (Allemagne).

Arantave (Espagne).

Becquerel, Jamin, Blavier, Joubert, Maurice Lévy, Lippmann, Mascart, Raynaud (France).

Abel, Adams, Everett, Hopkinson, Moulton, Preece, Rayleigh, C. W. Siemens, Spottiswoode, W. Thomson (Grande-Bretagne).

Eötvös (Hongrie).

Govi, Rosetti (Italie).

Broch (Norvège).

Brosscha (Pays-Bas).

Lenz (Russie).

Weber (Suisse).

damentales : centimètre, gramme-masse, seconde (C. G. S.) ;

2° Les unités pratiques, l'*Ohm* et le *Volt*, conserveront leurs définitions actuelles : 19^9 pour l'ohm et 10^8 pour le volt ;

3° L'unité de résistance (*Ohm*) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade ;

4° Une commission internationale sera chargée de déterminer, par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade, qui représentera la valeur de l'ohm ;

5° On appelle *Ampère* le courant produit par un volt dans un ohm ;

6° On appelle *Coulomb* la quantité d'électricité définie par la condition qu'un ampère donne un coulomb par seconde ;

7° On appelle *Farad* la capacité définie par la condition qu'un coulomb dans un farad donne un volt.

Maintenant quels sont les motifs qui ont dicté ces résolutions ? Nous ne saurions mieux faire, pour les exposer, que de reproduire les explications données par Sir William Thomson et complétées par le professeur Helmholtz dans la 3e séance du Congrès.

Dès le début de ces séances, a dit Sir W. Thomson, il a été question des unités fondamentales employées au commencement de ce siècle par la commission française, et lorsque le Congrès a dû s'occuper d'établir, pour les quantités électriques, un système analogue au système métrique, il n'a cru pouvoir mieux faire que de conserver, pour unité de longueur, le centimètre; pour unité de masse, le gramme-masse ; pour unité de temps, la seconde. De là dérivent, par des considérations qui ont été développées par MM. Gauss et Weber et mises en application par ce dernier, un système absolu pour mesurer la résistance, la force électro-motrice et l'intensité d'un courant, en unités fondées sur des unités fondamentales choisies. Mais ces unités ne seraient pas commodes pour la pratique, quelques-unes étant trop petites, quelques autres

trop grandes, et c'est en les multipliant, c'est en prenant pour mesure pratique de résistance une résistance qui est représentée dans le système absolu par une vitesse de 1.000 millions de centimètres par seconde, que l'on obtient l'ohm que la commission propose au Congrès de maintenir; de même le volt correspond à 100 millions d'unités C. G. S. de force électro-motrice.

Mais sous cette forme, dans cette définition, ces unités n'existent que dans les conceptions des géomètres et des physiciens. Il a paru nécessaire d'en avoir des représentations concrètes et, dans ce sens, il a paru préférable de recourir à une définition par une colonne de mercure répondant à de certaines conditions géométriques.

On avait pour cela plusieurs raisons. En premier lieu, on ne peut comparer les autres étalons qu'en les transportant en un même endroit. Ensuite la permanence des alliages métalliques n'est pas absolument hors de soupçon. La trempe exerce sur eux une influence encore mal connue, et qu'il appartiendra d'examiner sans doute à la commission internationale qui créera les étalons. En outre, un étalon de métal solide n'aurait pas les deux avantages que M. Siemens a signalés à la commission comme propres aux étalons mercuriels; à savoir que l'unité de mercure définie géométriquement pourra être reproduite en tout point du globe, sans transport d'autre étalon que ceux qui sont déjà répandus partout, ceux du mètre; et que l'approximation que l'on peut réaliser par cette méthode est énormément supérieure à celle que fournit une reproduction en fils de métal mesurés géométriquement.

En attendant les décisions ultérieures, où la valeur de l'unité C. G. S. servira de base, et où les méthodes les plus exactes seront employées, la commission n'a pas cru devoir modifier les étalons actuellement en usage. Ainsi s'expliquent les quatre premières propositions.

Il existe d'autres qualités électriques dont la mesure est souvent négligée dans la pratique, parce que l'on manque de noms pour les désigner et les rendre accessibles. La commission, désireuse d'attacher au système les noms d'Ampère, le fondateur de l'électro-dynamique, et de Coulomb, à qui l'on doit les premières déterminations et le fondement de la science

électro-statique, propose de donner les noms d'ampère et de coulomb aux mesures de courant et de quantité d'électricité.

Enfin le nom de Faraday sera aussi conservé dans le farad, comme mesure de capacité. Ainsi le volt (unité de force électro-motrice) agissant dans un ohm (unité de résistance) donne un courant de un ampère, c'est-à-dire de un coulomb (unité de quantité) par seconde. Et un farad est la capacité d'un condensateur qui contient un coulomb, quand la différence de potentiel entre ses deux plaques est un volt.

Voici maintenant les observations du professeur Helmholtz :

Il existait deux systèmes de mesures absolues : l'un, employé en Allemagne d'après Gauss et Weber, prenait pour unités fondamentales le millimètre et le milligramme; l'autre, en usage en Angleterre, partait du centimètre et du gramme. Il n'y avait donc pas concordance parfaite entre les mesures des deux pays. Or, la commission française ayant défini le gramme par le poids d'un centimètre cube d'eau, il était naturel de conserver les mêmes bases pour étendre le système métrique à d'autres quantités. En fait, l'Association britannique n'avait défini que l'ohm et le volt, mais n'avait point donné l'étalon d'intensité; et ce n'est que peu à peu que l'on s'accoutuma en Angleterre à employer, sous le nom de weber une unité d'intensité (un volt dans un ohm) qui se trouvait être dix fois plus grande que l'unité employée par Weber lui-même et que l'on appelait aussi weber en Allemagne. Déjà des confusions s'établissent dans les ouvrages de physique entre ces deux webers et si, après la revision de l'étalon de résistance, on eût conservé le nom de weber au courant produit par un volt dans le nouvel ohm, la confusion eût été inextricable. On a donc jugé préférable de supprimer ce nom, de mettre à la place, pour la nouvelle unité d'intensité, le nom d'Ampère, et ce choix est amplement justifié par les importants travaux du grand savant auquel on doit la connaissance claire des phénomènes électro-magnétiques; il a, en outre, l'avantage de joindre le nom d'un Français à ceux des illustrations allemandes, anglaises, italiennes qui ont déjà servi de parrains aux autres unités. On a aussi songé au nom d'Œrs-

tedt et on a dû l'abandonner, comme trop peu susceptible d'être abrégé dans certaines langues. On a aussi écarté le nom de Gauss qui n'a point fait de déterminations électro-magnétiques, jugeant préférable de le réserver pour l'unité que, sans doute, il faudra créer sous peu, l'unité d'intensité magnétique dans le champ des machines dynamo-électriques. D'ailleurs, nombre de savants ne sont pas d'avis de multiplier les noms d'unités, surtout si ces noms sont empruntés à des hommes.

Quant à la nature des étalons, Sir William Thomson a montré comment on a dû renoncer aux métaux, qui s'altèrent par le passage du courant. La confusion serait grande si, plus tard, on venait à reconnaître par la mesure des résistances spécifiques du mercure ou de quelques autres substances stables, que les étalons se sont modifiés. On a donc eu recours au principe appliqué avec succès par M. Siemens depuis de longues années, et cette décision aura encore l'avantage de permettre de faire par un calcul simple, la conversion des unités Siemens si répandues en nouvelles unités exprimées, elles aussi, par une colonne de mercure. Si on se range à ces propositions, le passage sera aisé de l'un à l'autre des systèmes existants.

Comme on l'a vu, l'ensemble des résolutions adoptées par le Congrès implique la constitution d'une commission internationale chargée des déterminations pratiques à effectuer. Sur la proposition de M. Wiedemann, c'est au Gouvernement français que le Congrès a confié le soin de se mettre en rapport avec les autres puissances « pour nommer », selon les termes du procès-verbal, « un co-« mité exécutif chargé des recherches nécessaires pour « établir ces unités. »

Maintenant ce comité, ou commission internationale, se rattachera-t-il au Bureau international, déjà établi, des poids et mesures? C'est là une question réservée. Sur l'initiative, en effet, de M. Förster, la proposition suivante a été adoptée à l'unanimité :

« Tout en reconnaissant la grande utilité que le Bureau

international des poids et mesures pourrait offrir pour les recherches de la commission internationale des unités électriques et pour la conservation des étalons de mesure, le Congrès croit convenable de laisser à cette dernière commission nommée par voie diplomatique, la décision à prendre au sujet du paragraphe 5 de la première partie du programme. »

Une autre question, qui a également donné lieu de la part du Congrès à l'émission d'un vœu en faveur de la création d'un nouveau comité international, est celle de l'étude des courants terrestres. Suivant le programme préparé par une commission spéciale dont la formation est due à l'initiative du Congrès météorologique de Rome en 1879, un grand nombre de puissances maritimes doivent organiser, du 1er août 1882 au 1er septembre 1883, des expéditions qui, de concert avec les Observatoires permanents, effectueront, à certains jours fixés comme termes, à savoir : le 1er et le 15 de chaque mois, des observations simultanées sur le magnétisme terrestre dans toutes les parties du globe. Or, le Président de cette commission, qui siège à Saint-Pétersbourg sous le nom de commission polaire internationale, avait attiré par lettre l'attention du Congrès des électriciens sur le grand intérêt qu'il y aurait à pouvoir profiter, pour faciliter et compléter ces observations, des ressources offertes par les réseaux télégraphiques et du concours des ingénieurs télégraphistes répandus dans toutes les parties du monde civilisé. La question offre un intérêt d'autant plus urgent que, comme l'a fait remarquer M. Förster, un des maxima périodiques des courants terrestres aura lieu dans les deux prochaines années. C'est pour donner suite à ces desiderata scientifiques que, sur la proposition de sa 1re section, le Congrès a unanimement adopté les deux vœux suivants :

1° Que des mesures soient prises par les différentes Admi-

nistrations télégraphiques afin d'organiser une étude systématique des courants terrestres, sous le patronage d'un comité international;

2° S'il n'est pas possible d'obtenir à bref délai une pareille organisation générale, il est à désirer qu'au moins des observations soient faites aux jours spécifiés par la commission polaire internationale à l'époque de ses expéditions (les 1er et 15 de chaque mois).

Mais l'étude des courants terrestres n'est pas la seule à laquelle peut donner lieu le magnétisme ou l'électricité répandue dans la nature. Aussi le Congrès a-t-il complété son œuvre en votant sur la proposition de M. Rowland, appuyée par la première section, un nouveau vœu ainsi formulé :

« Qu'une commission internationale soit chargée de préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique, afin de généraliser cette étude à la surface du globe. »

C'est encore le Gouvernement français qui, sur la proposition de M. Warren de la Rue, est chargé de provoquer la réunion de la commission que vise le vœu précédent.

La question de l'électricité atmosphérique conduit naturellement à celle de l'efficacité des paratonnerres. C'est là, comme l'a fait remarquer M. J.-B. Dumas, un sujet encore fort mal connu. Aussi, les deux sections du Congrès qui s'en sont préoccupées se sont-elles bornées, l'une, la 2e, à un échange d'idées sans prendre aucune décision, l'autre, la 1re, à l'émission du vœu suivant que le Congrès a adopté à l'unanimité :

« La 1re section émet le vœu qu'une entente s'établisse entre les divers États, en vue de réunir les éléments d'une statistique relative à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes en usage. »

L'observation des courants terrestres et de l'état électrique de l'atmosphère amène naturellement la question des observations météorologiques en général. On sait qu'actuellement un grand nombre d'Administrations télégraphiques centralisent et transmettent à l'Observatoire de Paris les résultats constatés dans leurs différents Observatoires et aussi dans quelques stations télégraphiques, et qu'à son tour l'Observatoire de Paris fait connaître en résumé, par communications télégraphiques, puis, en détail, par circulaires lithographiées, l'état général du temps dans l'ensemble du globe et plus spécialement en Europe, ainsi que les prévisions sur la marche et la force des perturbations atmosphériques.

Au nom de l'Observatoire de Bruxelles, M. van Rysselberghe a proposé de remplacer ce système d'échange de télégrammes de service entre les Instituts météorologiques par un projet de télémétéorographie internationale établie sur la base du télémétéorographe de Bruxelles et qui, au moyen d'un réseau spécial de fils télégraphiques à établir, permettrait d'enregistrer automatiquement dans les Observatoires des différents pays les principales données météorologiques, telles que la température, la hauteur barométrique, la direction et l'intensité du vent. Conformément à ces idées, il a soumis au Congrès le vœu suivant :

« Le Congrès, après avoir pris connaissance du système de télémétéorologie organisé en Belgique par l'Observatoire royal de Bruxelles, déclare qu'il serait de la plus haute utilité de créer un réseau télégraphique international spécialement affecté au service de la météorologie. »

L'Assemblée, tout en reconnaissant l'importance du projet qui lui était soumis, n'a pas cru devoir se prononcer immédiatement pour la création de ce réseau spé-

cial qui ne serait pas sans entraîner de lourdes dépenses et, sur la proposition de M. Everett, elle a adopté l'amendement suivant auquel M. van Rysselberghe s'était, d'ailleurs, rallié :

« Le Congrès émet le vœu que la commission internationale chargée de l'étude des courants terrestres et de l'électricité atmosphérique soit aussi chargée de faire un rapport sur la valeur pratique du système qui consiste à envoyer automatiquement les observations météorologiques à des stations éloignées. »

Une autre question, concernant encore l'électricité atmosphérique, est celle de savoir si les fils télégraphiques et téléphoniques installés sur les toits des maisons dans les villes constituent, en temps d'orage, un danger ou une protection. Au moment où le développement des réseaux téléphoniques multiplie ces communications, c'est là une question qui présente un caractère particulier d'actualité. Aussi a-t-elle été discutée, non seulement dans la 1re et la 2e sections, mais aussi en séance plénière. Bien que la plupart des membres du Congrès qui ont pris part à cette discussion aient incliné vers l'opinion que, sous la condition de bonnes communications à la terre aux deux extrémités, la présence des fils était de nature à garantir les édifices des effets de l'électricité atmosphérique, et que plusieurs d'entre eux se soient expressément prononcés dans ce sens, il a paru difficile au Congrès d'émettre un avis formel sur une question aussi délicate. Conformément aux propositions de la 1re section, il a pensé qu'il était indispensable de connaître, d'abord, par une statistique étendue la nature des accidents qui ont pu se produire sur ces lignes, et il a renvoyé l'étude de cette question à l'examen de la com-

mission internationale chargée de faire une enquête sur les paratonnerres.

Mais le rôle des lignes télégraphiques ou téléphoniques en cas d'orage n'est qu'un des cas particuliers dont il y a lieu de se préoccuper dans l'établissement de ces lignes. Les conditions qu'elles doivent remplir pour répondre le mieux à leur but comprennent un grand nombre d'autres questions. C'est là une étude que la 2e section a confiée à l'examen d'une commission spéciale(*), sur les travaux de laquelle nous nous réservons de revenir, car, au point de vue télégraphique qui doit plus spécialement nous occuper, ils renferment nombre d'informations et d'observations intéressantes. Bornons-nous, dans ce compte-rendu d'ensemble, à dire que la commission a résumé, elle-même, dans son rapport à la section, ses observations de la manière suivante :

1° La meilleure matière pour former les isolateurs est la porcelaine, et la meilleure forme est la double cloche;

2° En ce qui concerne l'injection des poteaux, les meilleures substances sont le sulfate de cuivre et la créosote, selon les convenances des divers pays;

3° Les poteaux en bois doivent être généralement employés, sauf dans les cas particuliers où les poteaux en fer peuvent présenter certains avantages;

4° Les fils employés pour la construction des lignes télégraphiques doivent être des fils de fer galvanisé. Les essais faits jusqu'à ce jour sur l'acier et le bronze phosphoreux n'ont pas donné des résultats suffisamment précis pour qu'il soit possible de se prononcer, du moins en ce qui concerne la construction des lignes télégraphiques;

5° Les modes de raccordement des fils de lignes aériennes reconnus les meilleurs sont le manchon français et le joint

(*) Cette commission était ainsi composée : Président, M. Bergon; secrétaires, MM. Boussac et Rothen; autres membres, MM. Banneux, Baron, Bede, Ch. Bright, Brix, Elssasser, Graves, Nyström, Richard et Weber.

Britannia. Toutefois la Belgique emploie encore la torsade double soudée qui donne de bons résultats.

Ces observations n'ont pas été soumises au Congrès, mais la commission avait, en outre, été amenée par le cours de ses discussions à formuler les deux vœux suivants que la 2e section s'est appropriés et que le Congrè a sanctionnés à l'unanimité :

1° Une entente sera établie entre les Administrations télégraphiques des divers pays afin d'instituer des expériences périodiques de mesures sur les fils internationaux;

2° Dans les marchés et publications, on ne désignera désormais, dans tous les pays, les fils que par leur diamètre exprimé en millimètres ou fractions de millimètres, à l'exclusion de toute indication de jauge.

Ce second vœu a été complété, dans la séance suivante du Congrès, en ce qui concerne les diamètres des câbles et fils recouverts, par le vœu suivant :

« Il sera entendu que, pour les fils recouverts et les câbles, toutes les mesures d'épaisseur seront également désignées en millimètres et fractions de millimètres. »

La question des fils recouverts et des câbles a donné lieu à la commission des lignes télégraphiques de discuter la valeur relative des diélectriques. Sans formuler une décision au sujet des différentes substances employées et dont les qualités peuvent répondre à des exigences diverses, la commission a constaté que, pour le plus important et le plus employé d'entre eux, la gutta-percha, il y avait urgence de prendre des mesures pour en régler l'exploitation, car si celle-ci continue à se faire sans aucune espèce de contrôle de la part des pays producteurs, il est à craindre que d'ici une trentaine d'années, la gutta-percha vienne à manquer complètement.

Il importerait que dans tous ces pays, comme la chose a déjà lieu au Brésil, des prescriptions rigoureusement observées empêchassent une exploitation hâtive et permissent aux arbres d'arriver à l'âge voulu. La 2e section, partageant les idées de sa commission, a cru utile, dès lors, de soumettre au Congrès un vœu dans ce sens, tout en reconnaissant les difficultés pratiques que peut présenter son application, mais dans l'espoir qu'il pourra en résulter, directement ou indirectement, une amélioration à une situation très fâcheuse. Voici en quels termes elle l'a formulé :

« Il est vivement à désirer que dans les pays possédant par eux-mêmes ou par leurs colonies des arbres à gutta-percha, des mesures soient prises pour la conservation de ces arbres et pour leur bonne exploitation. »

Quant au Congrès, en se ralliant à ce vœu, il a ajouté qu'il désirait signaler aux intéressés l'utilité des mesures qu'il conseille.

Mais il ne convient pas seulement de veiller à la conservation des matières qui entrent dans la fabrication des câbles, il importe aussi de régler et de garantir les délicates opérations de leur pose et de leur relèvement en mer. Ce sont là des points qu'avait prévus le programme préparé par la commission française et qu'il avait inscrits en ces termes, au nombre des questions générales à soumettre aux séances plénières :

1° Conventions destinées à régler les conditions d'établissement des câbles sous-marins dans les cas de juxtaposition ou de croisement;

2° Conventions à établir au sujet des signaux distinctifs et des règles de navigation à admettre pour les navires employés à la pose ou au relèvement des câbles sous-marins.

La matière ne paraît pas avoir été préalablement dis-

cutée dans les séances de section, mais à la séance plénière du 28 septembre, elle s'est élargie en comprenant, outre les points indiqués par le programme, la protection des câbles, en temps de paix, contre les atteintes inspirées par la malveillance, la négligence ou l'incurie et, en temps de guerre, par leur neutralisation.

Toutefois, le Congrès composé essentiellement de techniciens, n'avait pas qualité pour trancher des questions qui relèvent du domaine du droit international et du droit privé. Aussi, sur une observation conforme de son Président, il s'est borné, tout en manifestant l'intérêt qu'il attachait à la protection des câbles sous-marins, à exprimer, pour le premier point, le vœu suivant :

« Le Congrès émet le vœu que les Gouvernements des divers pays s'occupent de la nécessité d'établir des rapports internationaux concernant la propriété des câbles sous-marins. »

Quant au second point, il a, sur la proposition de M. Raynaud, adopté le vœu :

« Que le système des signaux actuellement en usage en Angleterre pour les navires télégraphiques, qui ne peuvent se déranger à l'approche d'un autre navire, soit adopté par tous pays. »

Ce dernier vœu a, d'ailleurs, reçu, en partie du moins, une satisfaction anticipée, car, ainsi que l'a fait connaître M. le Président du Congrès, un règlement international exécutoire depuis le 1er septembre 1880, prescrit quels sont les signaux que doivent porter les navires à voiles ou à vapeur, employés soit à poser, soit à relever les câbles télégraphiques et dont doivent tenir compte, pour régler leur route, les bâtiments qui rencontreraient, en mer, ces navires dans le cours de leurs opérations. Or, les puissances maritimes qui ont adhéré à ce règlement

sont au nombre de seize, à savoir : l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, la Belgique, le Chili, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grande-Bretagne, la Grèce, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la Russie et la Suède.

Parmi les différentes questions mises à l'ordre du jour du Congrès, il en est encore qui ont donné lieu à des votes, par exemple celle de la mesure de la lumière électrique. Cette importante question avait été posée ainsi par le programme de la commission préparatoire :

Questions concernant l'éclairage électrique.

Mesure de l'intensité lumineuse des sources électriques. Comparaison des divers procédés photométriques.

A défaut d'une unité absolue pour la mesure des intensités lumineuses, existe-t-il un type qui puisse être recommandé comme étalon international ? Est-il possible d'établir des règles simples pour les mesures photométriques ?

La 3e section appelée à la discuter, avant de soumettre des propositions au Congrès, a consacré à cette difficile question la plus grande partie de ces délibérations, et il suffira de citer les noms de quelques-uns des orateurs qui ont pris part (parmi les savants étrangers MM. Warren de la Rue, Helmboltz, William et Werner Siemens, Gladstone, Shoolbred, Tchikoleff, Ayrton, et parmi les savants français, MM. Dumas, Becquerel, Cornu, Crova, Violle, le Blanc) pour faire comprendre à quelle hauteur la discussion a pu s'élever et quel intérêt elle a pu présenter.

A la suite de cet échange d'idées, dit le compte-rendu de la section au Congrès, la 3e section a vu s'augmenter sa conviction sur les deux points suivants : on ne connaît pas actuellement une méthode photométrique applicable à la mesure du pouvoir éclairant des foyers électriques qui présente des avantages suffisants pour mériter d'être recommandée à l'ex-

clusion de toute autre; la réunion d'une commission internationale est nécessaire pour effectuer la comparaison des différentes méthodes en usage ou proposées et arriver au choix d'un procédé susceptible d'être adopté et employé d'une façon uniforme dans les différents pays.

D'autre part, elle a reconnu que les avantages que présentent respectivement, pour certaines mesures spéciales, les étalons lumineux en usage, et spécialement la bougie et le bec Carcel, justifient la conservation, au moins à titre provisoire, de ces deux types d'unité; mais elle a reconnu aussi que, dans cette hypothèse, il conviendrait de déterminer d'une façon plus précise la valeur comparative de ces étalons. Elle a pensé que la commission qui serait chargée de l'étude des différents procédés photométriques pourrait commencer ses travaux par cette détermination.

Mais comme les travaux du jury qui vont commencer comporteront des mesures de pouvoir éclairant pour lesquelles il importe d'adopter un terme unique de comparaison, et comme ici, à Paris, on peut disposer facilement de lampes Carcel réglées pour donner le bec-type; que d'ailleurs cet étalon de lumière s'approche plus que la bougie de la valeur du pouvoir éclairant des foyers qu'il s'agit de comparer, la section a pensé qu'il y avait lieu de recommander au jury l'emploi du bec Carcel comme rayon de lumière.

Ces conclusions sont résumées dans un vœu dont la rédaction a été préparée par M. Warren de la Rue et auquel se sont ralliés MM. Dumas et William Siemens après introduction d'un membre de phrase additionnel.

Ce vœu est ainsi conçu :

La 3e section propose :

1° Que le Congrès recommande au jury l'emploi de la lampe Carcel dans les comparaisons photométriques faites avec les divers appareils de lumière électrique exposés ;

2° Que le Gouvernement français veuille bien se mettre en rapport avec les Gouvernements étrangers, à l'effet de nommer une commission internationale qui sera chargée de la détermination de l'étalon définitif de lumière, et des dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

Les vœux de la 3e section ont été adoptés à l'unanimité par le Congrès.

On aura remarqué, sans doute, que la plupart des vœux émis par le Congrès se traduisent par la réunion d'une commission internationale. Y aura-t-il donc autant de commissions nouvelles à former que de questions pour lesquelles le Congrès en a exprimé le désir? Non, sans doute, et le Congrès, lui-même, sur la proposition de son bureau, a groupé de la manière suivante les diverses commissions internationales dont l'institution a été décidée, en exprimant le vœu que le Gouvernement français prît l'initiative des démarches à faire auprès des autres Gouvernements pour leur nomination et leur convocation :

1re *commission.*

Déterminer par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure de 1 millimètre carré de section qui, à la température de zéro, représentera la valeur de l'*ohm.*

2e *commission.*

a. Préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique, afin d'en généraliser l'étude à la surface du globe ;

b. Réunir les éléments statistiques relatifs à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes et à l'action préservatrice ou nuisible des réseaux télégraphiques et téléphoniques ;

c. Organiser l'étude systématique des courants terrestres sur les lignes télégraphiques, ou, du moins, des observations de ces courants aux jours *termes* spécifiés par la commission polaire internationale, à l'époque de ses expéditions (le 1er et le 15 de chaque mois) ;

d. Étudier les meilleures conditions d'établissement d'un réseau *télé-météorographique* international, permettant aux différentes stations de communiquer entre elles sans cesse,

pour obtenir ainsi d'une manière continue l'état météorologique du plus grand nombre possible de points utiles.

3e commission.

Déterminer un étalon définitif de lumière, et les dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

Les différentes questions que nous avons passées successivement en revue sont loin d'avoir épuisé le programme des travaux du Congrès, seulement elles constituent à peu près toutes celles sur lesquelles l'assemblée était appelée à prendre une décision, mais, soit dans les séances de section, soit dans les séances plénières, le Congrès a abordé encore plusieurs questions importantes dont les principales sont notamment les suivantes :

Questions concernant l'électrophysiologie. Nécessité de définir d'une façon scientifique les courants dont on fait usage dans les opérations médicales et d'en rattacher la mesure aux unités électriques.

Meilleurs moyens à employer pour déterminer la nature des phénomènes électriques qui se produisent chez les animaux.

Discutées par une commission spéciale réunie sous la présidence de M. le professeur E. du Bois-Reymond, ces importantes questions ont fait l'objet d'un très intéressant rapport au Congrès que nous aurions voulu pouvoir reproduire ici, mais que l'abondance des questions plus spéciales à l'ordre d'idées qui forme le sujet habituel des matières de ce journal (*Journal télégraphique international*) nous oblige à regret de nous borner à mentionner.

Questions concernant la transmission des forces à distance par l'électricité.

Emploi de l'électricité pour la transmission des forces à distance, faits connus et résultats acquis, difficultés à résoudre. Utilisation des forces naturelles au moyen de l'électricité.

Elles ont donné lieu à une très intéressante discussion dans la 3e section et nous aurons, sans doute, occasion de revenir par la suite sur les renseignements et les résultats constatés par les différents savants qui ont pris part à la discussion.

Application de l'électricité au service de sécurité des chemins de fer.

C'est la 2e section qui a discuté cette question et les services que peut rendre l'électricité à l'exploitation des voies ferrées ont été établis d'une manière si évidente, que la section a elle-même résumé ses délibérations dans la forme suivante : « L'utilité de l'électricité pour l'exploitation des chemins de fer est tellement évidente qu'il n'y a pas lieu de formuler un vœu pour son emploi par les Compagnies ni même de voter sur la question. »

Le Congrès a entendu aussi des communications de haute valeur, telles que celles de M. Marcel Deprez sur ses études relatives à la question de la distribution électrique, de M. Cabanellas sur le transport et la distribution de l'énergie par voie électrique, du professeur Govi, sur les notes scientifiques que l'on trouve dans un carnet ayant appartenu à Louis Galvani et sur une tentative faite par MM. les professeurs Rosetti et Cantoni d'établir, sous le nom de Bibliographie italienne des travaux relatifs à l'électricité et au magnétisme, un dénombrement de toutes les publications d'Italiens concernant ces questions, avec le souhait qu'un pareil travail bibliographique soit entrepris et réalisé dans les autres pays, de M. Alluard sur les appareils et les phénomènes électriques de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, etc., etc.

L'on comprendra qu'il nous en coûte de mentionner aussi brièvement toutes ces questions intéressantes,

comme, sans doute, il en a coûté aussi au Congrès de voir arriver l'heure de sa séparation avant d'avoir pu aborder toutes les matières qui avaient été prévues au programme préparatoire. Mais bon nombre de ses membres étaient impérieusement rappelés par leurs devoirs et leurs occupations et, une fois l'essentiel de sa tâche accomplie, c'est-à-dire une fois réglées les questions qui étaient de nature à aboutir à des résolutions, cette nécessité forçait le Congrès à clore la série de ses séances officielles. Toutefois, il n'a pas voulu priver le monde scientifique des intéressants enseignements que pouvait lui fournir encore la réunion de ceux de ses membres auxquels ne s'imposait pas une obligation de départ aussi pressante et, dans cette pensée, il a décidé avant la clôture officielle, que les membres de ses différentes sections se réuniraient ensemble en séances publiques dont le bureau, formé par la fusion des trois bureaux des sections, serait composé de M. Dumas, comme président, du professeur Hughes et du Dr Militzer, comme vice-présidents, et de MM. Gérard et Sébert, comme secrétaires.

Puis, ces questions réglées, et après un remarquable résumé des travaux que nous venons de passer en revue, fait par M. Mascart pour l'ensemble des questions abordées et par M. Dumas pour la question spéciale des unités électriques, M. le Ministre des postes et des télégraphes a clos la série des séances par le discours suivant:

Messieurs et chers collègues,

Le Congrès est arrivé au terme de ses travaux. Il a épuisé le programme qu'il s'était tracé.

J'eusse été heureux de prolonger vos réunions, de faire profiter la science, pendant quelques jours encore, de vos sa-

vantes et lumineuses discussions; mais il m'a fallu céder aux désirs exprimés par un certain nombre d'entre vous que d'impérieux devoirs rappellent dans leur pays.

Il me faut donc me résigner, dans un instant, à prononcer la clôture du Congrès.

Je veux auparavant remercier au nom de la France les États qui, répondant à notre appel, ont bien voulu déléguer vers nous leurs plus illustres savants. Nous ne saurions trop leur en témoigner notre reconnaissance.

C'est grâce à ce précieux concours que le Congrès a répondu à tout ce qu'on était en droit d'en attendre.

Vous venez d'écouter MM. Dumas et Mascart vous retraçant, dans un langage éloquent, la féconde série des travaux auxquels vous avez participé, travaux dont ils ont eux-mêmes pris leur bonne part. Vous avez droit d'être fiers de votre œuvre, vous avez largement rempli la mission qui vous avait été confiée.

Quelques questions ont dû être ajournées. Vous nous avez laissé le soin de provoquer ultérieurement la réunion de conférences internationales pour les traiter avec toute l'ampleur qu'elles méritent. Je n'ai pas perdu un instant pour répondre à votre appel.

Je me suis adressé, sans tarder, à mon collègue M. le Ministre des affaires étrangères.

Déjà il a transmis vos vœux aux diverses nations représentées dans cette réunion. Il vous appartient, chers collègues, d'appuyer vous-mêmes nos démarches auprès de vos propres Gouvernements et d'amener ainsi plus promptement des réponses favorables. Déjà même une acceptation nous est parvenue; cet empressement est d'un heureux présage.

Ce qui est pour moi un devoir, c'est de constater la cordialité, l'esprit de conciliation qui n'ont cessé de régner dans vos débats. Vous présider était facile, il n'y avait qu'à constater l'unité de vues qui dominait et qui se traduisait toujours par l'unanimité de vos votes.

Vous avez constamment cherché à affirmer l'unification internationale; vous avez voulu qu'il n'y eût qu'un seul langage scientifique de l'électricité, et que les mêmes mesures fussent acceptées dans tous les pays.

Ainsi, comme je le disais à votre première séance, votre Congrès inscrira glorieusement sa date dans l'histoire de la science et le souvenir s'en conservera d'autant plus qu'il sera consacré par le précieux recueil de vos discussions, dont je m'honorerai de hâter la publication.

Il me reste à vous remercier, Messieurs, de la bienveillance que vous n'avez cessé de me témoigner. Le souvenir de nos affectueuses relations ne s'effacera jamais de ma pensée.

Ainsi, c'est avec une confiante espérance qu'au lieu de vous dire adieu, je puis vous dire au revoir.

L'Assemblée a accueilli par ses applaudissements répétés les adieux de son président et MM. les D[rs] Warren de la Rue et Clausius se sont fait les interprètes du Congrès pour exprimer à M. le Ministre des postes et des télégraphes, ainsi qu'à M. le commissaire général du Congrès et à ses collaborateurs, leurs félicitations pour la grande part qui leur revenait dans le succès du Congrès et de l'exposition, ainsi que leurs remerciements pour l'accueil aimable et bienveillant que les membres étrangers du Congrès avaient reçu de ses organisateurs ainsi que de leurs confrères français.

EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

DISTRIBUTION DES RÉCOMPENSES.

La distribution des récompenses de l'exposition internationale d'électricité a eu lieu, le 21 octobre, sous la présidence de M. Cochery, ministre des postes et des télégraphes, dans la grande salle du Conservatoire national de musique.

Avaient pris place sur l'estrade : M. Barthélemy Saint-Hilaire, ministre des affaires étrangères; M. Teisserenc de Bort, ancien ministre, président du jury ; M. J.-B. Dumas, de l'Académie française ; M. Belpaire, de Belgique; M. le professeur Wiedemann, de Leipzig ; M. le docteur de Beetz, de Berlin ; M. le professeur Barker, de Pensylvanie, vice-présidents du jury ; M. Georges Berger, commissaire général de l'exposition; et M. Mascart, professeur au Collège de France, rapporteur général du jury.

La séance a été ouverte à deux heures précises. M. le ministre des postes et des télégraphes a prononcé le discours suivant :

Messieurs et chers collaborateurs,

Nous venons à peine de clore le congrès des électriciens, et déjà il nous faut procéder à la distribution des récompenses de l'Exposition internationale d'électricité; il nous faut donner ainsi le signal de la prochaine dispersion des merveilles de la science que vous avez groupées dans le Palais de l'Industrie.

Nous eussions voulu retarder la date de cette cérémonie, afin de lui ménager l'éclat et l'ampleur dont elle est si digne, et de la

rehausser par la présence de M. le président de la République et des grands corps de l'Etat. Nous eussions voulu la compléter immédiatement par cet ordre de récompenses que la libéralité des Chambres peut seule accorder.

Le temps nécessaire nous manque.

Beaucoup d'entre vous sont contraints de reprendre le chemin de leur pays, où les appellent d'impérieux intérêts. Le jury n'avait pas encore arrêté ses décisions, qu'on nous invitait déjà à fixer le jour de la distribution des récompenses.

Nous ne pouvions songer un instant à procéder à cette cérémonie en votre absence. Il nous a donc fallu nous résigner à cette réunion intime, un peu hâtive, et dans un local restreint.

Qu'importe, du reste! Ce n'est pas à un apparat extérieur que cette cérémonie peut emprunter sa grandeur, mais à l'objet même auquel elle se rapporte.

Pour la première fois, la science vient de procéder à une exposition spéciale et internationale.

Les principaux États ont, avec empressement, fourni leur concours.

Les admissions ont été restreintes exclusivement à ce qui touche à l'électricité, et les applications de cette force nouvelle sont déjà si multipliées qu'elles ont rempli le Palais de l'Industrie, qui, il y a vingt-cinq ans, suffisait à une exposition universelle.

Le public lui-même a répondu à notre appel. Chaque jour, 6 à 7,000 visiteurs ont parcouru l'exposition; parfois le nombre a dépassé 17 et 18,000.

Nous ne saurions en être surpris. Cette science mystérieuse de l'électricité n'était que vaguement connue. On en constatait quelques effets avec étonnement, mais on ne pouvait discerner jusqu'où s'étendait la vérité et où commençait la fiction.

L'Exposition a révélé clairement la puissance de cet agent incomparable, et, tout en indiquant la limite des applications actuelles, elle a surtout laissé pressentir les transformations que pourrait amener son emploi. Des conférences faites par les ingénieurs les plus compétents ont contribué à faciliter ce résultat.

C'est vous, messieurs, qui, en prenant part à notre Exposition, en ne reculant ni devant la peine, ni devant les sacrifices, avez contribué largement à son succès.

La France vous en est reconnaissante.

Quand, le 15 novembre, nous fermerons les portes du Palais de l'Industrie, vous pourrez aller avec confiance reprendre la suite de vos travaux, vous connaissez le prix que le public y attache ; vos succès actuels vous présagent sûrement vos succès futurs.

Aussi quand, dans quelques années, nous nous retrouverons à une nouvelle exposition internationale, que de progrès n'aurez-vous pas réalisés ! Grâce à de nouveaux efforts, la lumière électrique se pliera à tous les besoins. Le problème de la transmission de la force sera entièrement résolu. L'emmagasinement de l'électricité aura peut-être permis d'en étendre l'emploi aux usages les plus divers. La télégraphie, la téléphonie obéiront plus docilement aux impatiences du public. La médecine, la chirurgie auront trouvé dans l'électricité un concours de plus en plus puissant.

Que d'autres applications se sont révélées ! que de transformations en résulteront !

Vous aurez été les initiateurs, les vulgarisateurs ; ce sera votre gloire.

Ces diplômes, ces médailles que nous allons vous attribuer seront vos titres précieux à la reconnaissance des générations futures.

Quant à vous, messieurs les jurés, en vous demandant de vous charger d'une tâche difficile, nous n'avons considéré que votre illustration dans la science et votre ardent dévouement à ses progrès ; nous avons donc pu vous abandonner sans limite le jugement des récompenses. Nous ne connaissons pas vos décisions, nous allons les apprendre. Mais nous sommes en pleine sécurité ; nous savons qu'elles défieront toute critique.

Il ne me reste, pour terminer, qu'à formuler un vœu. Puissent les germes jetés par notre initiative nationale se développer et féconder l'avenir !

C'est le but que le gouvernement de la République française a poursuivi en inaugurant l'Exposition internationale d'élec-

tricité; c'est le but que l'union de nos efforts permettra d'atteindre.

Après ce discours, M. Georges Berger, commissaire général, a prononcé un discours dont nous citerons les passages suivants :

Monsieur le ministre,

Il appartenait à vous seul de constater publiquement combien le succès de l'Exposition internationale d'électricité honore et récompense tous ceux qui ont pris part à cette manifestation mémorable du progrès, dans le domaine de la science aussi bien que dans celui de l'industrie et de l'art pratique.

Je suis heureux de pouvoir certifier administrativement que, malgré sa durée déjà longue, le spectacle de l'Exposition n'a pas lassé la curiosité des visiteurs; ceux-ci continuent d'affluer dans le palais des Champs-Élysées.

Les incrédules qui pensaient nous faire l'aumône d'une flatterie en prédisant à notre entreprise un simple succès d'estime ont été captivés par les attraits inattendus de l'Exposition. Le scepticisme de la foule s'est laissé fléchir, et l'ambition de comprendre a saisi ceux qui, tout d'abord, n'avaient été que des croyants fascinés en face des révélations auxquelles ni leurs yeux ni leurs esprits n'étaient préparés.

Nous avons le droit d'être fier de notre œuvre. Aucun moyen empirique ne l'avait recommandée d'avance. Jusqu'au jour décisif de son ouverture, l'Exposition n'avait fait parler d'elle que dans le cercle restreint des hommes voués à la science ou à l'industrie électrique. Nous avions attendu patiemment et avec conviction que le résultat de nos efforts se signalât par lui-même. Notre attente n'a pas été vaine; on serait embarrassé de citer un homme sérieux dont la parole ou la plume ait contesté l'importance de notre réussite. Les grands organes de la presse française et étrangère, politique et scientifique, ont hautement apprécié l'idée et la méthode de réalisation qui ont fait de l'Exposition ce qu'elle est.

Honneur donc aux exposants des deux mondes! Honneur aussi aux commissaires étrangers et à leurs aides! Ils ont

tenu haut et ferme leurs drapeaux nationaux, que nous avons été fiers de voir flotter pacifiquement sous un toit français.

Si l'opportunité de l'Exposition internationale d'électricité était encore à démontrer, il suffirait de faire remarquer que l'exiguïté des délais fixés aux préparatifs de celle-ci n'a pas empêché que le nombre des exposants et celui des objets exposés aient dépassé toutes les prévisions.

Le décret présidentiel qui, sur la proposition du ministre des postes et des télégraphes, a institué l'Exposition et le congrès porte la date du 23 octobre 1880. Trois jours après, un second décret désignait les membres de la commission française d'organisation à laquelle est dû un règlement général adopté et publié le 6 décembre 1880. Un comité technique et un comité des finances, composés en majeure partie des membres de la commission d'organisation, ont prêté leur concours régulier à l'administration, qui a trouvé auprès d'eux des conseillers d'une valeur inappréciable.

Dès le 15 mai 1881, l'admission de 800 exposants français était prononcée et notifiée; le nombre de ceux-ci a été plus tard de 943. Pendant ce temps, les adhésions officielles de l'Allemagne, de la Suède, de la Norwège, de la Belgique, de l'Espagne, des Pays-Bas, de l'Autriche, de l'Italie, des États-Unis, de l'Amérique du Nord et du Japon nous étaient successivement parvenues. En Angleterre, en Russie, en Suisse et en Danemark, les gouvernements, désireux d'encourager les bonnes dispositions des inventeurs et des constructeurs, avaient autorisé les sociétés savantes et les administrations les plus à même de seconder et de diriger ce mouvement à se mettre en rapport direct avec le commissariat général français. Il faut citer et remercier le « General Post Office » et spécialement la « Société des ingénieurs télégraphiques et électriciens de Londres » ; c'est à leurs efforts combinés que l'Exposition du Royaume-Uni doit en grande partie son existence et son éclat. La Société impériale polytechnique de Russie, la direction des télégraphes suisses et le bureau international des administrations télégraphiques à Berne ont également été, pour nous, des correspondants utiles et dévoués.

Le Palais de l'Industrie, le seul local disponible et utilisable pour l'organisation d'une exposition telle que la nôtre, n'a pu

nous être livré totalement que pendant la seconde semaine du mois de juillet dernier. Néanmoins, l'inauguration officielle de l'Exposition a eu lieu le 11 août suivant, et, seize jours après, les portes du palais ont été définitivement ouvertes pendant la soirée.

En moins de deux mois, nous avons organisé de toutes pièces, dans une enceinte destinée à être fréquentée chaque jour par plus de 7,000 visiteurs, une usine grandiose, actionnée par 1,800 chevaux-vapeur. Cette usine, dont la mise en scène pittoresque a été remarquée, fonctionne publiquement depuis plus de dix semaines; aucun accident n'a été signalé à l'intérieur, aucune imprudence n'a été commise. Ce résultat est dû à l'intelligence de la foule, qui sait respecter ce qu'elle admire.

Depuis l'ouverture de l'Exposition, le chiffre des entrées a été de 570,000, sans compter, bien entendu, celles des exposants, des jurés, des membres du congrès, des fonctionnaires de tous grades et du personnel de service. Le nombre des visiteurs qui ont franchi nos tourniquets payants est de 490,000 environ, dont 26,000 ont été amenés par le tramway électrique. Nous avons autorisé la libre entrée de 4,500 élèves des écoles de la ville de Paris et du département de la Seine; plus de 30,000 billets gratuits valables pour une journée auront été répandus dans les ateliers et dans les administrations. Les porteurs de cartes permanentes et nominatives attribuées aux représentants de la presse et aux personnes désignées par les comités ont fourni un contingent d'entrées qui atteint un total de 57,000.

L'éloquence de ces chiffres prouve que le public a cessé d'être avide des seuls spectacles qui flattent les regards et charment les sens; il s'est épris de l'instruction et recherche les occasions de l'acquérir.

. . . .

Nous allons défaire ce que nous avons fait avec tant d'amour, mais ce qui survivra à la pioche des démolisseurs, c'est le souvenir d'une œuvre qui honorera éternellement l'humanité, aura provoqué un utile rapprochement des peuples et fécondera longuement le monde par les bienfaits qu'elle a réalisés et préparés. Il nous aura suffi de trois mois pour

emmagasiner la récolte scientifique du passé et pour semer abondamment celle de l'avenir. Grâce à vous, messieurs, le proverbe qui dit que la science est longue, mais que la vie est courte, aura menti une fois.

M. Tesserenc de Bort a ensuite invité M. le rapporteur général à présenter l'exposé sommaire des travaux du jury. M. Mascart s'est exprimé comme suit :

Monsieur le ministre,

Avant de donner lecture des récompenses décernées aux principaux exposants, vous avez cru qu'il était nécessaire d'indiquer en quelques traits le caractère général de cette Exposition, d'après l'examen attentif qui en a été fait par le jury. Est-il besoin d'ajouter que ce jury, composé des hommes les plus autorisés dans les différents pays, et à qui vous aviez laissé son entière liberté d'appréciation, a accompli sa mission avec un esprit de justice absolu, et qu'il a la conscience de n'avoir laissé dans son œuvre que la part d'imperfection qui tient à la nature même des jugements humains, surtout dans une question aussi neuve et aussi difficile?

Les récompenses que vous allez décerner s'adressent à la partie matérielle de l'Exposition ; mais comment oublier, avant d'en faire l'énumération, le spectacle noble et émouvant que nous a donné le congrès dans lequel sont venues s'agiter les doctrines, les pensées et s'exprimer les vœux qui se rapportaient à la partie intellectuelle de la science?

Par une nouveauté hardie dont aucune exposition jusqu'ici ne nous avait rendus témoins, vous avez eu le bonheur inespéré de réunir autour de vous les savants les plus éminents de notre temps, ceux dont les découvertes ont étonné le monde, ceux qui ont fait de la science de l'électricité ce qu'elle est aujourd'hui. Ils sont venus à votre appel pleins d'une loyale confiance, ils ont ouvert devant le public surpris et charmé tous les trésors de leur génie, et nous devons ici exprimer le regret que la plupart d'entre eux n'assistent pas à cette solennité. Après des discussions dont l'histoire de la science gardera le souvenir, faisant le sacrifice de tout préjugé national, de toute idée préconçue et de toute prétention personnelle, ils

ont donné par une entente commune une forme pratique et universelle à la langue de l'électricité et un système coordonné de mesures pour en déterminer les effets.

L'Exposition actuelle n'a pas de précédent. Elle représente l'ensemble des applications industrielles d'une science qui est pour ainsi dire née avec le siècle. Quelques-unes de ces applications ont paru dans les expositions antérieures, dont elles ne formaient que la moindre partie. Il y a quelques mois seulement, on pouvait encore douter que cette industrie fût capable de fournir les éléments d'une exposition universelle et d'attirer l'attention du public; mais les progrès accomplis de nos jours et presque sous nos yeux ont donné à l'ensemble des objets exposés un éclat incomparable.

L'Exposition présente même ce caractère inaccoutumé que la science et l'industrie y sont intimement mêlées; on retrouve dans les applications usuelles les déductions de la science la plus élevée et le génie de l'invention dans ce qu'il a de plus imprévu.

Aussi le jury s'est-il trouvé souvent dans l'impossibilité de reconnaître par les récompenses ordinaires le mérite des institutions et des savants qui ont exposé des instruments de recherches scientifiques ou les résultats de leurs travaux; c'est ce concours désintéressé qu'il a voulu reconnaître par des diplômes de coopération.

Dans le développement historique de la science, les premiers instruments sont ceux qui servent à la production de l'électricité statique. Le fait le plus saillant que nous ait montré l'Exposition est le plus grand nombre des appareils multiplicateurs fondés sur les phénomènes d'influence, et dont la machine de Holtz est encore le type le plus répandu.

La construction des piles n'a présenté aucun progrès saillant. On lutte toujours, avec plus ou moins de succès, contre les effets de polarisation et les usures inutiles; mais dans toutes les applications importantes, même en télégraphie, la tendance de l'industrie est de remplacer les piles par des machines d'induction. On doit signaler cependant les accumulateurs d'électricité dont nous avons vu les premiers essais, qui n'ont peut-être pas encore reçu leur dernière forme, et dont le principe trouvera sa place dans l'industrie.

Les machines magnéto-électriques ont été une des plus grandes curiosités de l'Exposition. Toutes les solutions théoriques du problème ont été réalisées, mais le nombre des types auxquels on s'est arrêté est réellement très restreint, et on sait maintenant les adapter d'une manière si parfaite aux différents besoins de l'industrie qu'on pourrait croire qu'on approche de la perfection et de la forme définitive, s'il n'était prudent de s'exprimer avec réserve dans une science si féconde en surprises.

La construction des câbles sous-marins s'améliore chaque année. Au point de vue de l'isolement, il y a une question de durée sur laquelle l'expérience seule peut prononcer; mais les câbles transatlantiques posés dans ces derniers temps conservent leurs propriétés isolantes avec une perfection qui n'avait pas encore été atteinte.

Pour les câbles souterrains, on n'est pas encore entièrement sorti de la période d'essai; les conditions d'adjudication sont peut-être un obstacle à la bonne fabrication.

De nouvelles idées se sont fait jour dans le congrès et dans l'Exposition au sujet de la protection des édifices contre la foudre; la question reste à l'étude, mais ne tardera pas à être résolue par les commissions internationales.

Les appareils de mesure ont subi une transformation complète depuis que la pose et l'exploitation des câbles transatlantiques a demandé à la science la solution des problèmes les plus difficiles. Les phénomènes d'électricité statique sont évalués avec une précision inconnue jusqu'ici. Les rhéostats, les galvanomètres ont pris des dimensions plus restreintes, des formes mieux appropriées aux besoins de la pratique et plus conformes aux indications de la théorie. Ici encore, il ne semble pas qu'il reste aucun progrès important à accomplir.

La construction des condensateurs et des câbles artificiels avait à vaincre des difficultés toutes spéciales, ces appareils s'améliorent chaque jour et comportent maintenant une exactitude inattendue.

Il est impossible de signaler en quelques mots les pas de géant franchis par la télégraphie pour augmenter le travail des lignes. Par les appareils doubles, quadruples, basés sur une analyse délicate des ondes électriques, et par la transmis-

sion des vibrations sonores de différentes périodes, on est parvenu à transporter sur un même fil, dans le même sens ou en sens contraire, et simultanément, un nombre de dépêches dont on ne peut prévoir aujourd'hui la limite. D'autre part, le temps employé par un signal pour parcourir les plus longues lignes aériennes est tellement court qu'il reste un long intervalle perdu entre ces deux signaux consécutifs d'un même appareil. On peut donc remplir cet intervalle par des signaux de plusieurs autres appareils, et il semble qu'il n'y ait d'autre obstacle à cette multiplication des dépêches, par division du temps, que la durée même de propagation de l'agent qui en est le messager.

Les effets de condensation n'ont pas encore permis d'appliquer aux câbles toutes ces méthodes si fécondes; c'est un problème à résoudre.

L'emploi des relais a, pour ainsi dire, supprimé les grandes lignes et permis l'application à toute distance des appareils les plus délicats.

Des catastrophes récentes ont appelé l'attention du public sur la sécurité des chemins de fer. Les compagnies ont montré par le grand nombre des systèmes de signaux exposés que c'est là une de leurs principales préoccupations. L'emploi de l'électricité dans les signaux de protection avait été d'abord l'objet de nombreuses préventions; l'expérience a montré, au contraire, que l'électricité n'est pas un agent capricieux, mais un serviteur fidèle et d'une utilité absolue quand on sait bien l'utiliser.

Que dire de la téléphonie, la merveille de notre temps? La surprise causée dans le public et dans le monde savant par la première annonce de cette prodigieuse découverte a été dépassée par l'admiration de tous ceux qui ont pu en être les témoins. Les moyens de transmettre les sons musicaux, le chant et la parole humaine, et d'en multiplier la puissance sans en altérer le caractère, sont même devenus si nombreux qu'on peut se demander pourquoi la découverte a été si tardive. C'est comme un nouveau sens donné par le génie de Graham Bell à l'activité humaine et une véritable révolution sociale.

Dans l'ordre purement scientifique la téléphonie a transformé les méthodes d'observation; on arrive aujourd'hui à

déterminer le poids, la composition chimique et la structure mécanique des corps par le seul concours de l'oreille.

Nous ne pouvons pas passer sous silence les phénomènes de radiophonie qui sont nés avec le concours de l'électricité et se rattachent aussi à cette science par le nom de l'inventeur; mais la radiophonie n'emprunte plus rien à l'électricité et fait intervenir la lumière seule comme agent de transmission de la parole.

L'éclairage électrique a été dans l'exposition une véritable révélation. A côté de la lumière à arc de Davy, qui a été transformée, régularisée par les méthodes les plus simples et les mécanismes les plus ingénieux, nous avons vu apparaître sa sœur rivale, la lumière à incandescence, qui ne se propose plus seulement d'illuminer les phares et d'éclairer les grands espaces, mais de s'établir au foyer domestique. Nous ne sommes qu'au début de cette industrie nouvelle et l'épreuve est déjà complète; la lumière à incandescence est un hôte acclimaté qui ne nous quittera plus.

Les machines magnéto-électriques, créées d'abord en vue de la lumière, sont maintenant appelées à un rôle plus étendu. Dans l'industrie des dépôts métalliques, elles ont éliminé les piles encombrantes et coûteuses; dans les arts mécaniques, l'électricité n'avait d'abord servi qu'à régler le départ, l'arrêt et le mouvement des organes de précision; elle transporte maintenant la force aux machines-outils, et même aux machines plus puissantes qui exigent un travail important, sans autre intermédiaire que des fils métalliques qui suivent les routes les plus capricieuses. On peut réaliser aujourd'hui ce problème singulier de faire passer vingt chevaux-vapeur par le trou d'une serrure.

Cette question de transport de la force par l'électricité a exercé la sagacité des inventeurs. Nous voyons approcher le moment où l'électricité sera transportée à domicile, mise à la disposition du public par un jeu de robinets, réglée par des soupapes et mesurée par un compteur, plus rigoureusement peut-être qu'on ne le fait aujourd'hui pour l'eau et le gaz d'éclairage.

L'art médical ne paraît pas encore en mesure de profiter des ressources que lui offrent la science de l'électricité et la

richesse de l'instrumentation ; mais la physiologie est dans une voie de progrès manifeste, et elle sent aujourd'hui le besoin d'une exactitude plus grande dans ses méthodes d'observation.

La galvanoplastie au moins pour le dépôt des métaux usuels, l'argent, l'or et le cuivre, est arrivée à une perfection qui ne laisse rien à désirer. La fabrication des objets de table, qui fait descendre jusqu'aux plus humbles ménages les jouissances autrefois réservées au luxe, a pris une telle importance que l'argenture des cuillères et des fourchettes absorbe chaque année 25 millions de francs d'argent métallique, c'est-à-dire le quart de la production annuelle de toutes les mines connues il y a quelques années.

On est maître aujourd'hui de produire des alliages en toutes proportions, et plusieurs métaux, tels que le fer, le nickel, le cobalt et l'étain ont fait leur apparition dans cette industrie si récente. L'électro-chimie devient même un puissant moyen métallurgique pour la purification du cuivre, si importante en télégraphie et pour l'affinage des métaux précieux. Elle envahit aussi le domaine de la chimie organique pour la rectification des esprits et elle tend à se substituer au chlore dans le blanchîment des étoffes.

En horlogerie on paraît avoir renoncé à utiliser l'électricité comme force motrice, et la tendance des artistes est de s'en servir uniquement comme moyen de réglage et de remise à l'heure sous la direction d'une horloge centrale.

Le problème de la subdivision du temps a donné lieu à un grand nombre d'appareils ingénieux. En prenant les diapasons comme compteurs et l'électricité comme signal des phénomènes on est parvenu à supprimer et à éliminer l'inertie des organes et à évaluer des intervalles de temps tellement courts que l'imagination peut à peine les concevoir. Il nous suffira de citer les applications à la détermination des longitudes, de la vitesse de la lumière et à l'étude du mouvement des projectiles dans l'âme des armes à feu. L'électro-diapason pénètre même dans les ateliers et devient un instrument d'usage industriel.

On a recours à l'électricité pour enregistrer à distance les phénomènes météorologiques, les indications des niveaux d'eau, les observations d'hydrographie.

Elle est en voie de transformer les instruments de musique, elle donne aux pianos la durée des sons de l'orgue et elle enregistre les improvisations musicales.

On la retrouve encore dans les jouets, qui serviront ainsi à l'éducation de l'enfance, et dans des appareils d'une grande utilité sociale, tels que les télégraphes de quartier et les avertisseurs d'incendie.

D'ailleurs, toute énumération serait nécessairement écourtée et incomplète, et nous avons à peine le temps de saisir au passage les différentes applications qui se multiplient sous nos yeux.

Il serait injuste d'oublier les machines à vapeur et les machines à gaz qui donnaient la vie à l'Exposition et à qui l'on demande maintenant des formes nouvelles mieux appropriées à l'industrie de l'électricité. On recherche dans le cas actuel des machines rapides et à mouvement régulier; nous ne pouvons pas affirmer que le problème soit encore résolu, mais de grands efforts ont été faits dans cette direction.

Les organisateurs de l'Exposition ont eu l'heureuse pensée de réunir les appareils qui ont servi aux fondateurs de la science, de sorte que l'histoire tout entière s'en déroulait sous les yeux des visiteurs. Nous devons adresser nos plus vifs remerciements aux grandes institutions scientifiques qui ont bien voulu nous confier les précieuses reliques de leurs hommes de génie. La comparaison de ces instruments de travail si modestes avec les résultats merveilleux de l'industrie qu'ils ont fondée par leurs découvertes a été pour le public, si désireux d'apprendre, une véritable initiation et un salutaire enseignement. On a pu ainsi toucher du doigt ce que devient la pensée d'un grand esprit quand elle est fécondée par le temps et par le travail des hommes intelligents et dévoués qui s'en emparent.

Quiconque a vu l'exposition et s'est rendu compte des résultats acquis aujourd'hui dans une science aussi récente, reconnaîtra que c'est un nouveau monde ouvert à l'activité de l'intelligence humaine.

M. Mascart a lu ensuite la liste des noms des exposants récompensés.

Avant l'ouverture et à la fin de la séance, les chœurs de l'Opéra et du Conservatoire, dirigés par M. Jules Cohen, ont fait entendre les quatre morceaux suivants :

La prière de la *Muette*, le chœur du premier acte *Hamlet*, le chœur des chasseurs du *Freischutz* et le chœur *Terre, éclaire-toi*, de Jules Cohen.

A quatre heures trois quarts la séance était terminée.

LISTE DES RÉCOMPENSES.

GRANDS DIPLÔMES D'HONNEUR.

France.

Ministère des postes et télégraphes.

Allemagne.

Reichs-Postamt.

Angleterre.

Administration des télégraphes de la Grande-Bretagne (Post-Office).

Autriche.

Ministère I. R. du commerce (Administration des télégraphes).

Belgique.

Administration des télégraphes de l'État.

DIPLÔMES D'HONNEUR DÉCERNÉS AUX MINISTÈRES, AUX ADMINISTRATIONS, AUX SOCIÉTÉS SAVANTES ET AUX COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

France.

Ministère de l'agriculture et du commerce (Conservatoire national des arts et métiers).

Ministère de la guerre.
Ministère de la marine et des colonies.
Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts (Bureau central météorologique. — Observatoire de Marseille et Observatoire de Paris).
Ministère des travaux publics (Service central des phares).
Ville de Paris (Préfecture de la Seine).
Ville de Paris (Préfecture de police).
Compagnie des chemins de fer du Nord.
Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.
Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
École supérieure de télégraphie.

Allemagne (Empire d').

Ministerium der œffentlichen Arbeiten und Herzoglich Braunschweigshes Communion Hüttenamt.

Amérique du Nord (États-Unis de l').

United States Signal Office.
Bureau des brevets des États-Unis d'Amérique.
Smithsonian Institution (Washington).

Angleterre.

Society of Telegraph Engineers and Electricians.

Autriche (Empire d').

Ministère de la guerre.
Administration de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État.

Belgique (Royaume de).

Observatoire royal de Bruxelles.
Compagnie des télégraphistes de campagne.
Ville de Gand.

Danemark (Royaume de).

Direction des télégraphes d'État.

Espagne (Royaume d').

Direction générale des postes et télégraphes.

Italie (Royaume d').

Ministère de l'agriculture.
Ministère de l'instruction publique.
Établissement de l'État pour la fabrication des cartes-valeurs.
Institut royal topographique militaire.

Japon (Empire du).

Ministère des travaux publics (Administration des télégraphes).

Norvège (Royaume de).

Institut topographique de Christiania.

Pays-Bas (Royaume des).

Administration des télégraphes de l'État.

Russie (Empire de)

Ministère de la marine.
Département des télégraphes.
État-major (section topographique).
Expédition pour la confection des papiers de l'État.
Société impériale polytechnique russe.

Suède (Royaume de).

Administration des télégraphes de Suède.
Génie militaire suédois.

Suisse (Confédération).

Administration des télégraphes suisses.
Bureau international des administrations télégraphiques (Berne).

DIPLÔMES D'HONNEUR DÉCERNÉS AUX ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS.

France.

Breguet.
Christofle et Cie.
Société générale des téléphones.

Allemagne.

Siemens et Halske.

Angleterre.

Eastern telegraph C°.
Siemens brothers and C° limited.
Submarine Telegraph C°.
Telegraph Construction and Maintenance C° limited.

DIPLÔMES D'HONNEUR DÉCERNÉS AUX INVENTEURS.

Baudot	France.
Bell (Alexander Graham)	États-Unis.
Bjerknes	Norvège.
Deprez (Marcel)	France.
Edison	États-Unis.
Gramme	France.
Hughes	Angleterre.
Pacinotti	Italie.
Planté (Gaston)	France.
Siemens (Dr Werner)	Allemagne.
Thomson (Sir William)	Angleterre.

DIPLÔMES DE COOPÉRATION.

France.

Collège de France (cabinet de physique).
Collège de France (laboratoire d'histoire naturelle des corps organisés).
Conservatoire national des arts et métiers.
Muséum d'histoire naturelle de Paris.
Guébhard (Adrien).
Trève (commandant).

Allemagne (Empire d').

Kœnigliche Eisenbahn-Direction (Berlin).
Kœnigliche Eisenbahn-Direction (Elberfeld).
Kœnigliche Eisenbahn-Direction (Frankfurt am Mein).

Kœnigliche Eisenbahn-Direction (Hannover).
Senats-Commission für Reichs-und auswærtige Angelegenheiten (Bremen).
Universitæt Berlin : Physiologisches Institut.
Technische Hochschule Berlin : Physikaliches Cabinet.
Polytechnikum Dresden : Physikalisches Cabinet.
Universitæt Gœttingen : Erdmagnetisches Observatorium und Physikalisches Institut.
Polytecnische Schule Karlsrhue : Physikalisches Cabinet.
Universitæt Leipzig : Phiysikalisch-Chemisches Institut.
Universitæt Marburg : Mathematisch-Physikalisches Institut.
Kœnigliche Akademie Munster : Physikalisches Cabinet.
Universitæt Rostock : Physiologisches Institut.
Universitæt Würzburg : Physikalisches Institut.
D[r] O. Frœlich, à Berlin.
D[r] L. Weber, à Kiel.

Angleterre.

King's College (administration of).
Royal Institution of Great Britain.

Autriche (Empire d').

Administration du chemin de fer de Buschtiehrad à Prague (Bohême).
Kohlfürst et Jetsche.
Mach (professeur), à Prague.
Pfaundler (professeur), à Innsbrück.
Puluj (docteur J.), à Vienne.
Von Waltenhofen (professeur à Prague).

Belgique (Royaume de).

Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique.
Maison de Joséphites, à Mesle-les-Gand.
Musée royal de l'industrie, à Bruxelles.
Société scientifique de Bruxelles.
Université de Louvain.
Université libre de Bruxelles.
Melsens.
Somzée.

Hongrie (Royaume de).

Antolik.

Italie (Royaume de).

Institut des sciences et des lettres de Milan.
Musée royal de Florence (cabinet de physique).
Musée royal de Florence (cabinet des anciens instruments d'astronomie et de physique).
Université royale de Gênes (cabinet de physique).
Université royale de Modène (cabinet de physique).
Université royale de Naples (cabinet de physique).
Université royale de Padoue (institut de physique).
Université royale de Pavie (cabinet de physique).
Université royale de Pise (cabinet de physique).
Université royale de Turin (cabinet de physique).
Lycée Spallanzani de Leggio (cabinet de physique).
Lycée Volta de Côme (cabinet de physique).
Lycée de Vérone (cabinet de physique) Rossi (Mich.-Étienne de).

Pays-Bas (Royaume des).

Administration du service des pompiers, à Amsterdam.
Fondation Teyler (cabinet de physique), à Haarlem.
Bosscha (Johannes), directeur de l'École polytechnique, à Delft.

Russie (Empire de).

Université impériale de Moscou (laboratoire de physique).

Suède (Royaume de).

Université de Lund.

Suisse (Confédération).

Colladon (Daniel).

MÉDAILLES D'OR

Achard . . . . France.
Ader. . . . . —
Anglo-American Brush Electric Light Corporation limited . . . . Angleterre.

Arlincourt (d')	France.
Bright	Angleterre.
British Electric Litght C°	—
Bürgin	Suisse.
Carels frères	Belgique.
Carpentier	France.
Charrière et C°	—
Collin	—
Compagnies des chemins de fer de l'Est	—
Compagnies du chemin de fer de Paris à Orléans	—
Compagnie générale belge de lumière électrique	Belgique.
Compagnie générale d'éclairage électrique	France.
Crompton	Angleterre.
De Vos	Belgique.
Deschiens	France.
Digney	—
Duboscq	—
Ducretet et C°	—
Dumoulin-Froment	—
Élliot frères	Angleterre.
Farcot (Joseph)	France.
Félix (Clément)	—
Felten et Guilleaume Carlswerk	Allemagne.
Gaiffe	France.
Garnier (H.)	—
Garnier (P.)	—
Geissler	Allemagne.
Gloesener (Mlle)	Belgique.
Golfarelli	Italie.
Gravier, Kuksz, Leudtke et Grether	Russie.
Gray (Elisha)	États-Unis.
Gülcher	Autriche.
Hardy, Hayet et Lignereux, successeurs	France.
Hefner von Alteneck	Allemagne.
Heilmann Ducommun et Steinlein	—
Henry-Lepaute	France.
Hipp	Suisse.
India Rubber gutta-percha and Telegraph Works C° limited	Angleterre.

Jaspar	Belgique.
Jousselin	France.
Jürgensen et Lorenz	Danemark.
Kaiser	Pays-Bas.
Latimer Clark, Muirhead and C°	Angleterre.
Lartigue	France.
Le Boulengé	Belgique.
Lenoir	France.
Menier	—
Mercadier	—
Méritens (de)	—
Meyer	—
Mors	—
Nord-Deutsche-Affinerie	Allemagne.
Olsen	Norwège.
Orduña (Carlos de)	Espagne.
Otto (pour les moteurs à gaz exposés par la compagnie française des moteurs à gaz, par MM. Fetu et Deliège et par la Gasmotorenfabrik zu Deutz)	Allemagne
Piette et Krizik	Autriche.
Pollitzer	—
Postel-Vinay	France.
Rattier et Ce	—
Redier et C. Tresca	—
Regnault	—
Sautter, Lemonnier et Ce	—
Schæffler (Otto)	Autriche.
Schubart	Belgique.
Sebert (lieutenant-colonel)	France.
Serrin	—
Société des usines métallurgiques d'Auteuil	—
Société générale d'électricité	—
Société Gramme	—
Société lyonnaise de constructions mécaniques et de lumière électrique	—
Sörensen	Suède.
Swan (J.-W.)	Angleterre.
Tainter (Sumner)	États-Unis.

Tesse	France.
United States Electric Lighting C° (système Maxim)	États-Unis.
Van Rysselberghe	Belgique.

MÉDAILLES D'ARGENT.

Administration de l'exploitation des chemins de fer de l'État.	Suède.
Administration du chemin de fer de Lemberg à Czernowitz	Autriche.
Apps.	Angleterre.
Armengaud aîné	France.
Avenarius.	Russie.
Ayrton et Perry	Angleterre.
Bailey et Puskas	États-Unis.
Barbier et Fenestre	France.
Barbier (E.)	—
Baudet (Cyrille).	—
Benoît (École d'horlogerie de Cluses).	—
Berjot.	—
Billaudot	—
Boivin	—
Bonet.	Espagne.
Bonis (Mme)	France.
Bonneau	—
Bonwill (W.-G.-A.).	États-Unis.
Borrel.	France.
Boudet de Pâris.	—
Brasseur et de Jaer	Belgique.
Brotherhood	Angleterre.
Cail, Halot et C°	Belgique.
Cardarelli.	Italie.
Carlender.	Suède.
Carré (Edmond).	France.
Carré (Ferdinand)	—
Cazésus	—
Ceradini	Italie.

Chaligny et Guyot-Sionnest.	France.
Chambrier	—
Cchameroy	—
Chappée	—
Chardin.	—
Charpentier.	—
Chauvin et Marin Darbel.	—
Chenot aîné.	—
Closset	Belgique.
Compagnie anonyme des forges de Châtillon et de Commentry.	France.
Compagnie parisienne d'éclairage par l'électricité (ancienne alliance).	—
Connolly brothers and Mac Tighe.	États-Unis.
Consolidated Telephone C° and maintenance. . .	Angleterre.
Crespin.	France.
Daussin.	Belgique.
Debrun et Law	France.
Dehennault-Bouillet.	Belgique.
Desruelles et Bourdoncle.	France.
Dobrokhotoff-Maïkoff	Russie.
Dolbear.	États-Unis.
Duchemin	France.
Dujardin	—
Duport et Alker	Belgique.
Eccard	États-Unis.
Ecole d'horlogerie de Paris.	France.
Egger.	Autriche.
Electric purifier C°	États-Unis.
Electro-dynamic C°	—
Ericson (L.-M.) et C°, ...	Suède.
Exchange Telegraph D° limited.	Angleterre.
Farcot (E.-D.)	France.
Fleuriais	—
Frœhlich	Hongrie.
Fuisseaux (de) frères.	Belgique.
Fyfe.	Angleterre.
Geneste Hercher et C°	France.
Gérard (A)	—

Gérard et Germot	France.
Ginori	Italie.
Guillemart (Edmond)	France.
Gurlt	Allemagne.
Hache et Pépin-Lehalleur	France.
Hartmann	Allemagne.
Hasler	Suisse.
Héquet	France.
Hubbard	États-Unis.
Humblot	France.
Jacquemier	—
Jarriant	—
Johnson and Nephew	Angleterre.
Kaiserliche General-Direction der Eisenbahnen in Elsass-Lothringen	Allemagne.
Kremenecky	Autriche.
La Horden et Bonet	Espagne.
Le Goarant de Tromelin	France.
L'Hôte	—
Lenczewski	—
Létrange et C°	—
Lermontow	Russie.
Locht Labye (de)	Belgique.
Maiche et C°	France.
Mandroux	—
Mignon et Rouart	—
Mildé fils	—
Monnier	Suisse.
Montefiore-Lévi	Belgique.
Moquery	France.
Mouchel	—
Müller	Allemagne.
Naglo frères	—
Napoli	France.
Naudin et Schneider	—
Newall	Angleterre.
Noé	France.
Olland	Pays-Bas.
Olry et Grandemange	France.

Petit (G)	France.
Piat	—
Philipps (Williams)	États-Unis.
Pierucci	Italie.
Racagni et Guglielmini	—
Pont Indicator C°	États-Unis.
Radiguet (C.-A.)	France.
Raphael (Max)	Allemagne.
Rault et Chassan	France.
Renaudot et Magniny	—
Reynier	—
Richard	Italie.
Robey and C°	Angleterre.
Rouvier	France.
Sabine	Angleterre.
Saxby et Farmer	—
Schweizer	Suisse.
Sedlacek	Autriche.
Seguy (Veuve Hector et Fils)	France.
Sieur	—
Société anonyme de constructions mécaniques d'Anzin	—
Société anonyme des hauts-fourneaux, fonderies et forges de Franche-Comté	—
Société anonyme de Grivegnée	Belgique.
Société anonyme de Lessjofors	Suède.
Société « la Force et la Lumière »	France.
Société nouvelle des forges et chantiers de la Méditerranée	—
Société suisse des téléphones	Suisse.
Spagnoletti	Angleterre.
Stœhrer und Sohn	Allemagne.
Suisse	France.
Taverdon	—
Terral (jeune)	—
Thiers	—
Thomson Sterne and C° limited	Angleterre.
Tommasi	France.
Trouvé	—

Van den Kerchove	Belgique.
Van Wetteren (Nicolas).	Pays-Bas.
Varral, Elwel et Middleton	France.
Vavin	—
Voss	Allemagne.
Weills (F.).	France.
Welsch	Belgique.
Wennman	Suède.
Western Electric manufacturing C°.	États-Unis.
Weston Electric Light C°.	—
Willot	France.
Wittwer et Wetzer.	Allemagne.

MÉDAILLES DE BRONZE.

Aboilard.	France.
Académie d'aérostation météorologique	—
Alamagny et Oriol	—
Albaret	—
Amsler.	Suisse.
Arnould.	France.
Avoiron et Clément.	—
Bacle	—
Baillehache (de)	—
Ballat..	—
Ball.	États-Unis.
Bandieri.	Italie.
Barbey	France.
Barluet et Cie.	—
Barrière et Ce.	—
Bartelous	Belgique.
Baudet (Cloris).	France.
Beau (Nicolas)	—
Beaufils	—
Bédollière (de la)	—
Bellet (Louis).	—
Bernard	—
Bessand et Ce	—

›n.	France.
et et Mora	—
n.	—
. . . .	—
›y, Emmot et C°.	Angleterre.
. . . .	Suède.
leau	France.
›on	—
nann.	Russie.
reaux.	France.
›t et Cᵉ.	—
din (J).	—
ne.	Angleterre.
d.	Belgique.
nschweiler et fils.	Suisse.
. . . .	France.
eteux	—
ud	—
›.	—
›n et Montgolfier	—
›.	—
lli	Italie.
;nato.	—
y.	France.
uis	—
.e.	Belgique.
et	États-Unis.
:emps	France.
et et Rezard.	—
ıux.	—
›ettes (de)	—
›agnie des bronzes.	Belgique.
›agnie française du celluloid.	France.
›agnie internationale des téléphones de ıxelles.	Belgique.
.er (aîné et fils).	France.
ns	—
tot.	—
ter and Son.	Angleterre.

Croon et Cᵉ . . . . Pays-Bas.
Cumming . . . . États-Unis.
Cuypers . . . . Allemagne.
Dalifol et Cᵉ . . . . France.
Dandigny . . . . —
Daville (Auguste) . . . . —
Dawans et Orban . . . . Belgique.
Debayeux . . . . France.
Deffez . . . . —
Delahaye . . . . —
Delamotte . . . . —
De la Roche et Mayrhofer . . . . —
De la Taille . . . . —
Delaurier . . . . —
Delaye . . . . —
Deleuil . . . . —
Dolgorouki (Prince) . . . . Russie.
Delsaux . . . . Belgique.
Denis-Fouillet . . . . France.
Dereviankine . . . . Russie.
Desguin . . . . Belgique.
Dion . . . . États-Unis.
Dœrffel . . . . Allemagne.
Dopfeld . . . . France.
Dorizon . . . . —
Douce et Cᵉ . . . . —
Dubos . . . . —
Ducousso frères . . . . —
Dupont (J.) . . . . Belgique.
Echenique . . . . Espagne.
Eliaers . . . . France.
Engel . . . . —
Engstrom (Edward) . . . . Suède.
Estienne . . . . France.
Evely . . . . Belgique.
Fautrier . . . . Italie.
Fein . . . . Allemagne.
Ferry et Millet . . . . France.
Flechet et Cᵉ . . . . Belgique.

Fontenilles	France.
Forest.	—
Foxcroft.	Angleterre.
Frémond	France.
Frenais	—
Frion et Thierré	—
Galante.	Espagne.
Gallet (Victor)	France.
Gary.	—
Gauthier.	—
Gautret	—
Geissler (Nicolas).	Russie.
Gerosa.	Italie.
Geesbergen (Jean)	Belgique.
Gerzabeck, Zeller et C°.	Allemagne.
Giesbers.	Belgique.
Giraud.	France.
Gits	—
Godager (Hans).	Norvège.
Goppelsroeder.	Suisse.
Grandfeld.	Autriche.
Gras.	France.
Grassi et Beux	—
Gravollet	—
Grin.	—
Grivolas.	—
Grosguéniant.	—
Guggemos	—
Guichard et C°.	—
Hamelle et Fleutelot	—
Hedges-Killingworth.	Angleterre
Hempel	France.
Holmgren.	Suède.
Hoosach Tunnel tri-nitroglicérine-works.	États-Unis.
Horn.	Allemagne.
Hospitalier	France.
Hubin.	—
Humblot et Terral	—
Hunebelle.	—

Hurtu et Hautin	France.
Hutchinson et Cie.	—
Jacobs.	Pays-Bas.
Jacquez	France.
Jean.	—
Joly	—
Jordery	—
Journaux.	—
Jowa.	Belgique.
Kern	France.
Keiser et Schmidt	Allemagne.
Kovaco	Russie.
Lagarde.	France.
Laneuville et Pers.	—
Lapointe	—
Latchinoff.	Russie.
Laveissière et fils.	France.
Leblanc et Loiseau.	—
Leclerc	—
Leduc.	Belgique.
Legat	France.
Leguay	—
Lemoine	—
Lessing.	Allemagne.
Létard.	France.
Le Tellier et Vertraet	—
Letourneau.	—
Liébert	—
Lionnet.	—
Loiseau (Édouard).	—
Loiseau et Guichard.	—
Luizard.	—
Mangenot.	—
Mantelet et Joly	—
Marcillac	—
Mathieu.	—
Michel.	—
Milchsack et Cie.	Allemagne.
Mills	Pays-Bas.

Mirand fils	France.
Mirandolle	Pays-Bas.
Monti	France.
Mouchère fils.	—
Mourlon	Belgique.
Mugna	Italie.
Nacfer.	France.
Neujean.	Belgique.
Nigra	Italie.
Noblet.	France.
Noel.	—
O. Lawlor.	Angleterre.
Olin et fils	Belgique.
Ollivier	France.
Olsen	—
Oré et Chagnoleau.	—
Papin.	—
Parent (Georges).	—
Bartz	États-Unis.
Paterson	Angleterre.
Patry	France.
Pelletier.	—
Perez-Blancs.	Espagne.
Perille	France.
Perin-Grados.	—
Petit (Pierre).	—
Photo-Relievo et C°	États-Unis.
Piedras y Macho.	Espagne.
Planche fils	Belgique.
Radiguet et fils.	France.
Raffard	—
Ragosine	Russie.
Raikem	Belgique.
Ransomes Head et Jefferies	Angleterre.
Rebiceck	Autriche.
Richez et C°	Belgique.
Rose	France.
Roullier et Arnoult.	—
Rous.	—

Sabel	Angleterre.
Sacré	Belgique.
Sambourg	France.
Samson	—
Sax	Angleterre.
Schneider et Cie	France.
Serravalle	Italie.
Seure	France.
Skrivano	Russie.
Slouguinoff	—
Smith	Angleterre.
Société anonyme de câbles électriques, système Berthould, Borel et Cie	France.
Société anonyme de Skultuna	Suède.
Société anonyme de Nickel	France.
Société générale pour la fabrication de la dynamite	—
Société parisienne de fonderie et laminage	—
Société d'études et constructions électriques zurichoise	Suisse.
Solignac et Cie	France.
Sommati di Monbello	Italie.
Stifl and Sons	Angleterre.
Stoesser	France.
Tagaitschinoff	Russie.
Tegnander	Suède.
The Dowson Economic Gas Company	Angleterre.
Tichomiroff	Russie.
Tissandier	France.
Tostrup	Norvège.
Vaillant, Leclerc et Gourdon	France.
Vanderbiste	Belgique.
Van der Ploeg	—
Vandevelde	—
Van Hulle	—
Vauzelle et fils	France.
Videcoq	—
Vigouroux et Andriveau	—
Waelput	Belgique.
Wallis et Stevens	Angleterre.

.ler et Montefiore Levi	France.
tecross Wire Company	Angleterre.
te house Mills	États-Unis.
iams	—
:.	Allemagne.
;e Piccaluga et C[e]	Pays-Bas.
ff	France.

Gérant : Dunod — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1881 Novembre-Décembre.

THÉORIE DU FROTTEMENT

APPLIQUÉE AU TIRAGE DES CABLES

Lorsqu'on amène des câbles dans une conduite, au départ ces câbles ne sont soumis à aucune tension appréciable ; mais, à mesure qu'ils parcourent la conduite en se rapprochant de l'autre extrémité, leur tension augmente de plus en plus en raison de leur frottement sur les tuyaux et, à l'arrivée, atteint un maximum qui représente l'effort à développer pour vaincre les résistances du tirage, abstraction faite des résistances développées par la machine de traction. Le frottement est déterminé par l'une ou plusieurs des causes suivantes :

1° Le poids des câbles détermine un frottement proportionnel à ce poids et à un certain coefficient appelé coefficient de frottement;

2° Lorsque la conduite décrit une ligne courbe, le frottement est augmenté par ce fait dans une certaine proportion suivant la longueur de la courbe et sa courbure;

3° Lorsque la conduite est installée sur une pente, le frottement est augmenté ou diminué suivant que le tirage des câbles se fait en remontant ou en descendant cette pente;

4° Si le diamètre de la conduite n'a pas été calculé de manière à laisser un certain jeu pour le mouvement des câbles, ceux-ci glisseront à frottement très dur et l'effort de traction à exercer deviendra considérable;

5° Si les tuyaux présentent en certains points des arêtes vives, principalement dans les parties courbes de la ligne, ou si les câbles sont déchirés ou présentent des renflements notables, ces défectuosités contribueront encore à augmenter les frottements et par suite la difficulté du tirage.

Ces deux dernières causes d'accroissement de frottement échappent au calcul. Elles proviennent d'ailleurs de négligences assez faciles à éviter, et nous nous bornerons à les signaler.

Quant au trois premiers cas énumérés ci-dessus, ils s'imposent forcément. Ils sont faciles à traiter par le calcul, pourvu que l'on connaisse le coefficient de frottement des câbles sur la surface intérieure des tuyaux. Ce coefficient varie suivant que la conduite à l'intérieur est plus ou moins rugueuse, plus ou moins humide, et suivant que les câbles sont plus ou moins enduits de talc. En outre, il n'est pas le même à l'entrée des câbles dans la conduite et à leur sortie, parce qu'une partie du talc dont ils sont enduits se dépose dans l'intervalle. Mais il est facile de tourner la difficulté provenant de la variation, peu considérable d'ailleurs, du coefficient de frottement en le considérant comme constant et en prenant pour sa valeur une moyenne résultant de données expérimentales.

Cette hypothèse faite, nous allons calculer la tension que possèdent les câbles à la sortie de la conduite :

1° Lorsque celle-ci décrit une ligne droite et horizontale ;

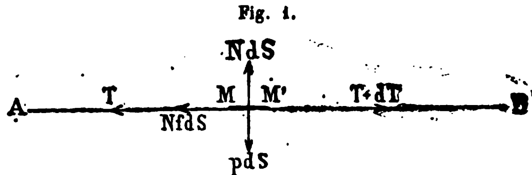
2° Lorsqu'elle décrit des lignes courbes de niveau ;

3° Lorsquelle suit des rampes, soit ascendantes, soit descendantes.

§ 1. — *Conduite en ligne droite et horizontale.*

Désignons par p le poids d'un mètre courant du ou des câbles qu'il s'agit d'amener dans la conduite, par f le coefficient de frottement des câbles sur la fonte des tuyaux.

Fig. 1.



Soit $MM' = ds$ (*fig.* 1) un élément de la ligne AB. Si le tirage se fait dans le sens de A vers B, le frottement sera dirigé en sens contraire, et l'élément MM' sera en équilibre sous l'action des forces suivantes :

Son poids, qui est égal à pds ;

La réaction normale de la conduite sur la longueur MM' de câble, que nous désignerons par Nds ;

Le frottement ou réaction tangentielle de la conduite, qui est égal à $NdS \times f$;

La tension T à laquelle est soumis l'élément MM' au point M, et qui est dirigée comme l'indique la *fig.* 1 ;

La tension $T + dT$ en M'.

Or, les forces pds et Nds qui sont verticales se font équilibre entre elles. Il en est de même pour les trois dernières forces qui sont dirigées suivant AB ; ce qui donne les deux équations d'équilibre

$$NdS - pdS = 0,$$
$$(T + dT) - T - NfdS = 0.$$

On tire de là :

$$dT = pfdS;$$

D'où en intégrant :

$$T = T_0 + plf,$$

T_0 représentant la tension des câbles en un point quelconque de la ligne, et T la tension en un point situé à l mètres du précédent dans le sens du tirage.

Si le premier point est pris à l'entrée de la conduite et le second à la sortie, on aura : $T_0 = 0$, et par suite L désignant la longueur totale de la section de conduite considérée

$$(1) \qquad T = pLf.$$

En représentant par P le poids total pL des câbles, cette formule devient

$$T = Pf,$$

ou encore

$$f = \frac{T}{P}.$$

T n'est autre chose que l'effort à vaincre dans le tirage des câbles si l'on fait abstraction des résistances dues à la machine tractrice elle-même. Par conséquent, le coefficient de frottement est égal au rapport de l'effort à vaincre au poids total des câbles, lorsque le tirage s'effectue en ligne droite et horizontale.

L'effort à vaincre est susceptible d'être mesuré à l'aide

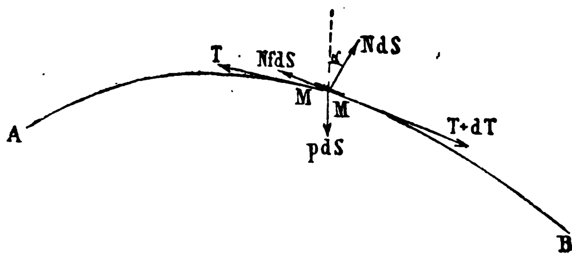
d'un dynamomètre. Quant au poids total des câbles on pourra le calculer connaissant le poids p du mètre courant et la longueur L. La valeur du coefficient f pourra par suite être déterminée par des expériences préalables.

D'après des expériences variées de tirage de câbles exécutées au Champ-de-Mars en janvier 1880, la valeur du coefficient de frottement des câbles sur la surface intérieure des tuyaux dans d'assez bonnes conditions ne doit pas dépasser 1/3. C'est cette valeur maximum que nous attribuerons à f dans les calculs suivants pour nous placer dans le cas le plus défavorable et être sûr d'avoir un maximum du frottement à vaincre.

§ 2. — *Conduite en ligne courbe de niveau.*

Supposons que la conduite décrive la ligne courbe et horizontale AB (*fig.* 2). Considérons sur cette courbe un élément MM' $= d$S. Soit $d\varphi$ l'angle de contingence corres-

Fig. 2.



pondant et R le rayon de courbure. L'élément MM' sera en équilibre sous l'action des forces suivantes :

Son poids pdS, dirigé suivant la verticale ;

La réaction normale de la conduite, soit NdS, qui fait avec la verticale un certain angle α ;

La réaction tangentielle ou frottement $Nfds$, qui est *dirigée en sens inverse* du tirage;

La tension T à laquelle l'élément MM′ est soumise en M;

La tension $T + dT$ en M′, qui fait avec la tension T l'angle $d\varphi$.

Ces forces se faisant équilibre, la somme de leurs projections sur un axe quelconque est nulle. Projetons-les successivement sur la verticale, sur le rayon de courbure et sur la tangente à la courbe. Nous aurons les trois équations d'équilibre.

$$\begin{aligned} NdS \cos \alpha - pdS &= 0, \\ NdS \sin \alpha - Td\varphi &= 0, \\ (T + dT) - T - NfdS &= 0. \end{aligned}$$

On a d'ailleurs

$$dS = Rd\varphi.$$

En éliminant entre ces quatre équations N, α et dS, on en tire

$$\frac{dT}{\sqrt{T^2 + p^2R^2}} = fd\varphi.$$

Si le rayon de courbure varie d'une manière quelconque aux différents points de la courbe, cette équation différentielle sera très difficile à intégrer. Mais dans la pratique on construit les courbes par arcs de cercle d'une certaine longueur. Pour un arc de cercle, R étant constant, on aura en intégrant :

$$L(T + \sqrt{T^2 + p^2R^2}) = f\varphi + \text{const.}$$

Pour éliminer la constante, remarquons que si l'on prend comme origine un point A de la courbe, T_0 désignant la tension des câbles en ce point et φ l'angle que

la tangente à la courbe en M fait avec la tangente en A, l'équation précédente pourra s'écrire

$$T + \sqrt{T^2 + p^2R^2} = (T_0 + \sqrt{T_0^2 + p^2R^2})e^{f\varphi},$$

ou encore

$$T = T_0 \frac{e^{f\varphi} + e^{-f\varphi}}{2} + \sqrt{T_0^2 + p^2R^2}\,\frac{e^{f\varphi} - e^{-f\varphi}}{2}.$$

Si l'on développe le second membre de cette équation suivant les puissances croissantes de $f\varphi$, on aura la valeur de T exprimée en série :

$$(2) \qquad T = T_0\left(1 + \frac{f^2\varphi^2}{1.2} + \frac{f^4\varphi^4}{1.2.3.4} + \ldots\right) + \sqrt{T_0^2 + p^2R^2}\left(\frac{f\varphi}{1} + \frac{f^3\varphi^3}{1.2.3} + \ldots\right).$$

La tension à l'entrée de la courbe AB étant T_0 et la longueur de la courbe étant $R\varphi$, si la courbe était remplacée par une ligne droite, la tension T calculée d'après la formule (1) serait $T_0 + pR\varphi f$. Par conséquent, si l'on pose $R\varphi = l$, l'accroissement de frottement dû à la présence de la courbe est

$$\delta T = T_0\left(1 + \frac{f^2\varphi^2}{1.2} + \ldots\right) + \sqrt{T_0^2 + p^2R^2}\left(f\varphi + \frac{f^3\varphi^3}{1.2.3} + \ldots\right) - (T_0 + plf).$$

Pour une même courbe de rayon R et de longueur l, suivant qu'elle est située vers l'entrée ou vers la sortie de la conduite ou dans une position intermédiaire l'accroissement δT aura des valeurs très différentes. Supposons, par exemple, que la courbe soit située à l'entrée même de la conduite. Alors $T_0 = 0$, et

$$\delta T = pR\left(f\varphi + \frac{f^3\varphi^3}{1.2.3} + \ldots\right) - plf = plf\left(\frac{f^2\varphi^2}{1.2.3} + \ldots\right).$$

si $\varphi = \frac{1}{2}$ (angle de 29° environ), et si l'on prend $f = \frac{1}{3}$,

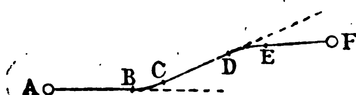
$$\delta T = \frac{plf}{216} = 0{,}0046 . plf.$$

Supposons, au contraire, que la même courbe se trouve vers la sortie de la conduite, à 300 mètres de l'entrée par exemple. Alors on a : $T_0 = 300\, pf = 100\, p$. Si le rayon de la courbe est de 200 mètres, la longueur l sera égale à $200 \times \frac{1}{2} = 100$ mètres. En effectuant les calculs, on trouvera $\delta T = 16{,}5\ pf = 0{,}165\ pfl$; c'est-à-dire que l'accroissement de résistance dû à la courbe est 36 fois plus fort dans le second cas que dans le premier. Dans le premier cas, cet accroissement est tout à fait insignifiant.

Il résulte de là, que si une section de conduite présente plusieurs parties courbes, on calculera pour cette section un maximun du frottement en supposant toutes les courbes reportées vers la sortie de la conduite.

En outre, si une section de conduite AF (*fig.* 3) renferme des courbes BC, DE, etc., destinées à raccorder respectivement les alignements droits AB et CD, CD et EF, etc., plus les rayons de ces courbes seront grands, plus le frottement sera doux. C'est là un fait très facile à démontrer par le calcul. Sans entrer toutefois dans les développements de la démonstration, nous concluerons de là que s'il s'agit de calculer la tension des câbles à la sortie F de la conduite, en supposant les courbes BC, DE, etc., remplacées par des courbes de rayon nul on aura une valeur exagérée de cette tension.

Fig. 3.



En combinant les deux résultats précédents, savoir que le frottement est d'autant plus grand que les courbes BC, DE,... ont des rayons plus petits et sont plus rapprochées de l'extrémité F de la section, on arrivera à une règle très simple pour calculer un maximum de la tension en F, c'est-à-dire de l'effort à développer pour amener le câble de A en F. Soient en effet φ' l'angle des droites AB et CD raccordées par la courbe BC, φ'' l'angle des droites CD et EF, etc. Supposons que toutes les courbes BC, DE,... soient : 1° remplacées par des courbes de rayon nul; 2° reportées en F, c'est-à-dire que tous les angles φ', φ'',... soient supprimés et reportés en F. La section AF se composera alors théoriquement d'une partie droite AF de longueur L et d'une courbe de rayon nul raccordant deux alignements droits faisant entre eux un angle $\varphi = \varphi' + \varphi'' + \ldots$ Si la section était droite, la tension en F serait, d'après la formule (1)

$$T_1 = pLf.$$

L'effet des φ', φ'',... ou, ce qui revient au même, de l'angle total φ est d'augmenter la tension T_1 dans une certaine proportion que l'on obtiendra à l'aide de la formule (2). Si l'on fait dans cette formule $R = 0$, on aura

$$(3) \qquad T = T_1 e^{f\varphi} = pLf\left(1 + \frac{f\varphi}{1} + \frac{f^2\varphi^2}{1.2} + \ldots\right).$$

Suivant la valeur de φ et l'approximation que l'on veut avoir, il suffira de prendre les deux ou les trois premiers termes de la série.

Il est à remarquer que l'on doit toujours prendre pour φ la *somme* des angles φ', φ'',... ; car lors même que ces angles sont les uns dans un sens, les autres dans un autre, ils n'ont nullement pour effet, au point de vue du

tirage, de se détruire. Ils s'ajoutent, au contraire, exactement comme s'ils étaient tous dans le même sens.

Supposons, par exemple, que la section AF ait une longueur de 400 mètres et qu'elle renferme trois angles, l'un $\varphi' = 0,40$ (23° environ) à 100 mètres de l'entrée A de la conduite, le second $\varphi'' = 0,07$ (4°) à 200 mètres de A, le troisième $\varphi''' = 0,20$ (11° 1/2) à 300 mètres de A. Les formules approximatives que nous venons d'établir donneront

$$T_1 = pLf = 400pf,$$
$$T = pLf\left(1 + \frac{f\varphi}{1}\right) = 400pf\left(1 + \frac{1}{3} \times 0,67\right).$$
$$T = 489pf.$$

La tension des câbles en F sera donc moindre que si la section était en ligne droite et avait 489 mètres de longueur.

Si l'on calcule la valeur de T en tenant compte de ce que les angles φ', φ'', φ''', au lieu d'être en F, sont à 100, 200 et 300 mètres du point A, on trouve un chiffre notablement différent du précédent

$$T = 440pf.$$

Cet exemple montre que la valeur de T calculée d'après la formule (3) sera toujours un maximum, et qu'elle sera d'autant plus exagérée que les angles φ' φ'',... seront plus rapprochées de l'entrée de la conduite.

Admettons pratiquement ce maximum comme la valeur exacte du frottement. La longueur normale que l'on donne aux sections de conduite en ligne droite étant de 500 mètres par exemple, pour qu'une section renfermant des courbes soit dans les mêmes conditions que la section normale au point de vue du tirage, c'est-à-dire pour qu'elle présente la même résistance de frottement,

il faut que sa longueur soit réduite à une certaine valeur moindre que 500 mètres et qu'il est facile de calculer. Soit L cette longueur; la valeur de T d'après la formule (3) sera

$$T = pLf \cdot e^{f\varphi}.$$

D'autre part, pour la section normale de 500 mètres en ligne droite, on a : $T = 500pf.$

L doit donc être telle que l'on ait

$$pLfe^{f\varphi} = 500pf$$

ou

$$L = 500e^{-f\varphi} = 500\left(1 - \frac{f\varphi}{1} + \frac{f^2\varphi^2}{1.2} - \ldots\right).$$

Si on limite la série aux deux premiers termes, ce qui revient à diminuer la valeur du second membre, on aura un minimum de la longueur qu'il est possible de donner à une section renfermant des angles dont la somme est φ, sans que le frottement des câbles dans cette section dépasse ni même atteigne le frottement dans une section de 500 mètres en ligne droite. Ce minimum est

$$L = 500(1 - f\varphi).$$

Prenons par exemple $f = \frac{1}{3}$. On aura pour différentes valeurs de φ

Pour $\varphi = \frac{1}{5}$ (soit 11°28′) $L = 500 - 33 = 467^m$

$\varphi = \frac{2}{5}$ (soit 22°55′) $L = 500 - 67 = 433$

$\varphi = \frac{3}{5}$ (soit 34°23′) $L = 500 - 100 = 400$

$\varphi = \frac{4}{5}$ (soit 45°50′) $L = 500 - 133 = 367$

$\varphi = 1$ (soit 57°17′) $L = 500 - 167 = 333.$

On fait usage très souvent de tuyaux courbes pour raccorder deux alignements droits faisant un certain angle entre eux. Ces tuyaux courbes ont 5 mètres de rayon et peuvent être coupés à la longueur voulue. La circonférence de 5 mètres de rayon ayant une longueur égale à $2\pi \times 5 = 31^m,416$, un arc de 1 mètre pris sur cette circonférence correspond à un angle au centre égal à $\frac{2\pi}{31,416} = \frac{1}{5}$, ou bien en degrés et minutes à $\frac{360^\circ}{31,416} = 11^\circ 28'$. Un tuyau courbe d'un mètre de longueur servira donc à raccorder deux alignements faisant entre eux un angle de 11°28′.

Dès lors, au lieu d'évaluer les angles en degrés et minutes, on pourra les évaluer en longueurs de tuyaux courbes. Ainsi, un angle de 11°28′ correspond à 1 mètre de tuyau courbe; un angle de 22°55′ correspond à 2 mètres, et ainsi de suite. Un angle φ quelconque correspondra à une longueur a de tuyau courbe telle que $a = 5\varphi$. Par conséquent, si la valeur de a pour une section de conduite est égale à 1 mètre, la longueur L, d'après le tableau précédent, devra être de 467 mètres, si $a = 2$, $L = 433$ mètres, etc. D'une manière générale, on pourra poser

$$L = 500 - 33a.$$

En refaisant d'une manière plus rigoureuse les calculs qui ont conduit à cette formule, au lieu du coefficient 33 qui y figure on trouverait un nombre plus faible, 30 environ. On peut prendre ce dernier nombre d'une manière définitive et poser

$$L = 500 - 30a, \tag{4}$$

c'est-à-dire que pour calculer la longueur à donner à

une section de conduite renfermant des courbes on commencera par transformer tous les angles φ', φ'',... ou plutôt leur somme φ en longueur de tuyaux courbes, et pour avoir L on retranchera de la longueur normale de 500 mètres autant de fois 30 mètres qu'il y a de mètres de tuyaux courbes dans la section en question.

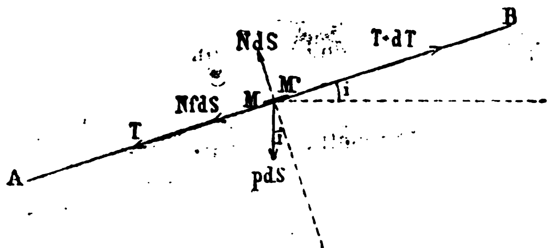
Les angles sur le terrain pouvant se mesurer d'une manière très facile directement en longueurs de tuyaux courbes, la règle précédente est très simple et son application ne présente aucune difficulté dans la pratique.

§ 3. — *Conduite installée en pente.*

I. — *Cas où la pente est droite.*

Soit i l'inclinaison de la conduite AB (*fig.* 4). Si les

Fig. 4.



câbles vont en remontant la pente, un élément MM' sera en équilibre sous l'action des forces suivantes :

Le poids pdS de l'élément ;

La réaction normale NdS de la conduite ;

La réaction tangentielle NfdS dirigée en sens inverse du tirage ;

La tension T au point M, et la tension T + dT en M'.

On aura, par conséquent, les deux équations d'équi-

libre

$$\mathrm{N}d\mathrm{S} - pd\mathrm{S}\cos i = 0,$$
$$(\mathrm{T} + d\mathrm{T}) - \mathrm{T} - \mathrm{N}fd\mathrm{S} - pd\mathrm{S}\sin i = 0,$$

d'où l'on tire

$$d\mathrm{T} = pd\mathrm{S}\,(\sin i + f\cos i)$$

et en intégrant

$$\mathrm{T} = \mathrm{T}_0 + p\mathrm{S}\,(\sin i + f\cos i).$$

T_0 étant la tension en un point A de la pente droite et S la distance du point M au point A. Posons

$$\mathrm{S}\cos i = l,$$
$$\mathrm{S}\sin i = h,$$

l représente la projection horizontale de S, projection qui diffère d'ailleurs extrêmement peu de S dans la pratique, l'inclinaison i étant très faible. Quant à h, c'est la différence de niveau des points A et M. On peut donc écrire

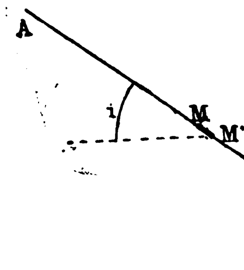
$$(5) \qquad \mathrm{T} = \mathrm{T}_0 + plf + ph.$$

Si la conduite était de niveau, on aurait simplement

$$\mathrm{T} = \mathrm{T}_0 + plf,$$

La formule (5) montre que l'effet de la pente ascendante est d'augmenter le frottement sur une longueur AM du poids ph d'une longueur de câbles égale à la hauteur du point M au-dessus de A.

Fig. 5.



Si au lieu de remonter la pente les câbles la descendent au contraire, les équations précédentes subsistent à la condition

de changer les signes de i et de h. On trouvera ainsi

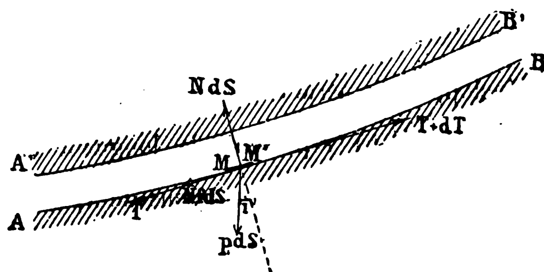
$$(6) \qquad T = T_0 + plf - ph,$$

c'est-à-dire que l'effet de la pente descendante est de diminuer le frottement sur une longueur AM du poids ph d'une longueur de câbles égale à la hauteur du point A au-dessus de M (*fig.* 5).

II. — *Cas où la pente est variable, la conduite restant dans un même plan vertical.*

Soit AA'BB' (*fig.* 5) une coupe verticale de la conduite, AB figurant la paroi inférieure, A'B' la paroi supérieure. Nous supposerons d'abord que les câbles reposent sur la

Fig. 6.



paroi inférieure AB au lieu d'être tendus contre la paroi A'B'. Soit MM' un élément de la conduite sur lequel repose une longueur dS de câble. L'élément dS de câble est en équilibre sous l'action des forces suivantes :

Son poids pdS ;

La réaction normale NdS de la conduite ;

La réaction tangentielle $NfdS$, dirigée de M' vers M, si le tirage se fait de A vers B ;

Les tensions T en M et $T + dT$ en M'.

Si i désigne l'inclinaison de l'élément MM', di l'angle de contingence, c'est-à-dire l'angle que forment entre elles les tensions T et $T + dT$, R le rayon de courbure de la

ligne, on aura les équations d'équilibre

$$NdS + Tdi - pdS\cos i = 0,$$
$$(T + dT) - T - NfdS - pdS\sin i = 0,$$

avec la relation :

$$dS = Rdi.$$

On tire de là en éliminant N et dS:

$$dT + fTdi - pR(f\cos i + \sin i)di = 0.$$

Si le rayon R est constant, en intégrant cette équation, avec la condition initiale $T = T_0$ pour $i = i_0$ au point A, on aura :

$$(7)\quad Te^{fi} = T_0e^{fi_0} - \frac{pR}{1+f^2}\{e^{fi}[2f\sin i - (1-f^2)\cos i] - e^{fi_0}[2f\sin i_0 - (1-f^2)\cos i_0]\}.$$

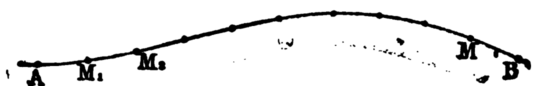
En développant en série le facteur de $\frac{pR}{1+f^2}$ et remarquant que $R(i - i_0)$ représente la longueur $AM = l$, $R\frac{(i^2 - i_0^2)}{2}$ la hauteur h de M au-dessus de A, si l'on néglige les termes à partir du 3ᵉ ordre, on obtient la formule

$$(8)\qquad Te^{fi} = T_0e^{fi_0} + plf + ph(1 + f^2).$$

Dans la démonstration précédente nous avons supposé que la concavité de la ligne était tournée de bas en haut et que les câbles remontaient la pente. Mais il est facile de s'assurer que les équations d'équilibre subsistent même sans ces restrictions pourvu que l'on attribue à R, i et di des signes convenables. La formule (8), qui en est déduite, est donc générale. Seulement on devra y considérer i comme positif à la montée et négatif à la descente, h comme croissant à la montée et décroissant à la descente.

Cette formule (8) est indépendante du rayon R. Si la ligne AB, au lieu de décrire un arc de cercle, décrit une courbe quelconque, on pourra toujours supposer cette

Fig. 7.



courbe (*fig.* 7) remplacée par une série d'arcs de cercles AM_1, M_1M_2,..... de rayons R_1, R_2,.....; et pour chacun de ces arcs de cercles on aura successivement

$$
\begin{aligned}
T_1 e^{fi_1} &= T_0 e \quad + p l_1 f + p h_1 (1 + f^2),\\
T_2 e^{fi_2} &= T_1 e^{fi_1} + p l_2 f + p h_2 (1 + f^2),\\
&\vdots\\
T e^{fi} &= T_n e^{fi_n} + p l_n f + p h_n (1 + f^2),
\end{aligned}
$$

d'où, en ajoutant membre toutes ces équations

$$T e^{fi} = T_0 e^{fi_0} + pf \cdot \sum l_m + p(1 + f^2) \cdot \sum h_m,$$

ou bien

$$T e^{fi} = T_0 e^{fi_0} + plf + ph(1 + f^2),$$

l désignant la somme des longueurs l_1, l_2,..... l_n, c'est-à-dire la longueur AM et h la différence du niveau de M au-dessus de A.

La formule (8), que nous retrouvons ainsi pour une courbe AB quelconque, est donc tout à fait générale, mais à une condition, c'est que les câbles reposent effectivement sur la paroi inférieure AB de la conduite (*fig.* 6). Dans le cas contraire où, par l'effet d'une forte tension, ils s'appliquent contre la paroi supérieure A'B', les équations d'équilibre sont modifiées. La réaction normale $N ds$ de la conduite étant en effet dirigée de haut en bas, on

ligne sur a devra l'affecter du signe moins. On aura, par conséquent,

$$NdS + pdS \cos i - Tdi = 0,$$
$$T + dT - T - NfdS - pdS \sin i = 0,$$

avec

$$dS = Rdi.$$

On tire de là

$$dT - fTdi + pR(f \cos i - \sin i)di = 0,$$

et en intégrant

$$(9) \quad Te^{-fi} = T_0 e^{-fi_0} - \frac{pR}{1+f^2}\left\{ e^{-fi}[2f \sin i + (1-f^2)\cos i] - e^{-fi_0}[2f \sin i_0 + (1-f^2)\cos i_0] \right\}$$

ou encore, en développant en série le facteur de $\frac{pR}{1+f^2}$ et négligeant les termes à partir du 3e ordre, et en remarquant que $R(i - i_0) = l$ et $R\frac{(i^2 - i_0^2)}{2} = h$:

$$(10) \qquad Te^{-fi} = T_0 e^{-fi_0} - plf + ph(1 + f^2).$$

Cette formule est applicable à une courbe quelconque telle que la courbe AB (*fig.* 7), à la seule condition que les câbles devront s'appliquer contre la paroi supérieure de la conduite.

On peut d'ailleurs se demander dans quelles conditions les câbles devront s'appliquer contre la paroi supérieure de la conduite. Supposons que ces conditions soient remplies. L'une des équations d'équilibre écrites plus haut est

$$NdS + pdS \cos i - Tdi = 0,$$

ou bien, en remplaçant dS par Rdi :

$$NdS = (T - pR \cos i)di.$$

Comme N est essentiellement positif, il faut que

$$(11) \qquad T > pR \cos i.$$

Or, si la conduite suit la pente naturelle du terrain, celle-ci est toujours très faible et on peut remplacer cos i par 1. En outre, le rayon R dépasse 500 mètres. Par suite

$$pR \cos i > 500p.$$

D'autre part, la tension T ne peut dépasser la valeur du frottement d'une section de 500 mètres en ligne droite, c'est-à-dire

$$T \leqq 500pf.$$

L'inégalité (11) ne peut être vérifiée, car on aura toujours

$$500p > 500pf.$$

Par conséquent, dans le cas où la conduite suit la pente naturelle du terrain, les câbles reposeront toujours sur la paroi inférieure.

Il en sera de même lorsque la conduite décrira une courbe *à grand rayon* pour passer soit au-dessus, soit au-dessous d'un obstacle tel qu'un aqueduc, un égout, etc. On forme à l'aide de tuyaux droits une courbe à grand rayon en forçant un peu sur les joints et inclinant légèrement les tuyaux les uns par rapport aux autres. Dans la pratique une telle courbe ne doit pas dépasser une certaine courbure ; le rayon sera au moins de 200 mètres par exemple. Dans ce cas d'ailleurs l'angle i est très faible, et l'on peut remplacer cos i par 1, de telle sorte que

$$pR \cos i \geqq 200p.$$

D'autre part, nous avons vu que T ne peut dépasser

500 pf, c'est-à-dire $\frac{500\,p}{3}$, si l'on prend $f=\frac{1}{3}$. On aura donc encore dans ce cas

$$T > pR \cos i;$$

c'est-à-dire que si la conduite, comme l'indique la *fig.* 8,

Fig. 8.

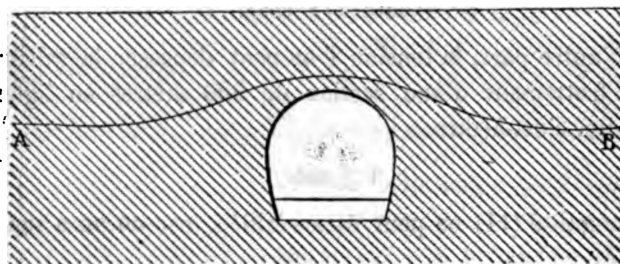
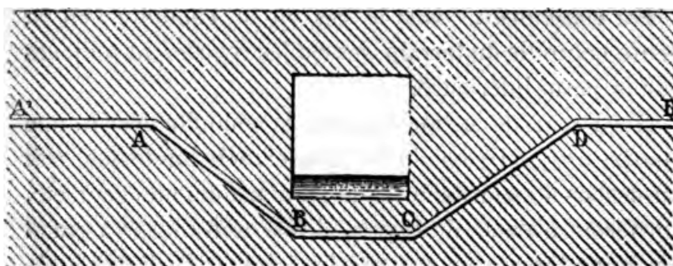


Fig. 9.



décrit une courbe à grand rayon, les câbles reposeront toujours pendant le tirage sur la paroi inférieure, et la formule (8) sera applicable. Or, en A ainsi qu'en B, c'est-à-dire au commencement et à la fin de la courbe, on a

$$i = i_0 = 0,$$

et la formule (8) donnera

$$T = T_0 + plf + ph(1 + f^2).$$

En outre, comme en général les points A et B sont au même niveau, $h = o$, et

$$T = T_0 + plf.$$

Cette formule n'est autre chose que la formule (1). Elle exprime que l'effet d'une courbe AB à grand rayon quelconque est nul pourvu que les points A et B soient à la même hauteur.

Mais si au lieu de franchir un obstacle à l'aide d'une courbe à grand rayon (*fig.* 8), on fait usage de tuyaux courbes de 5 mètres de rayon, comme dans le cas de la *fig.* 9, pour raccorder deux à deux les alignements droits A'A et AB, AB et BC, ... l'inégalité (11) sera vérifiée en général. Il suffit pour cela, puisque $R = 5$, que

$$T > 5p \cos i.$$

Or, si la distance de A à l'entrée de la conduite est l, on a $T_0 = plf$, et comme $T > T_0$, il suffit que l'on ait

$$plf > 5p \cos i.$$

ou

$$l > \frac{5 \cos i}{f}.$$

Prenons $f = \frac{1}{3}$. Si l dépasse seulement 15 mètres, on aura *a fortiori*

$$l > 15 \cos i.$$

Ainsi dans ce cas la formule (10) est applicable, mais seulement aux angles B et C, car il est évident qu'en A et D les câbles frotteront contre la paroi inférieure de la conduite. Soit T_0, par exemple, la tension à l'entrée A du passage en question, T la tension à la sortie D. Si l'on applique la formule (8) aux angles A et D, la formule (10) aux angles B et C, en calculant de proche en proche, on

arrive à

$$T = T_0 e^{4fi} + plf,$$

i désignant l'inclinaison des pentes AB et CD, et l la longueur ABCD. Cette formule n'est d'ailleurs qu'approchée; mais pratiquement elle donne un résultat suffisamment exact.

Il est à remarquer que l'angle $4i$ correspond à l'ensemble des longueurs des quatre tuyaux courbes placés en A, B, C, D. Si, par exemple, chacun de ces tuyaux est de 1 mètre, on a $i = \frac{1}{5}$ et $4i = \frac{4}{5}$. L'effet de l'angle $4i$ est d'augmenter la tension T_0 dans la proportion de 1 à e^{4fi}, absolument comme si la conduite ABCD, au lieu d'être dans un plan vertical, était de niveau.

Il résulte de ce qui précède que si une section de conduite renferme des courbes situées dans des plans verticaux et si ces courbes sont à grand rayon on pourra les négliger dans le calcul de T; si, au contraire, ces courbes sont formées par des tuyaux de 5 mètres de rayon, on en tiendra compte de la même manière que pour les courbes de niveau. Dans ce dernier cas, chaque mètre de tuyau courbe aura pour effet de faire diminuer la longueur de la section de 30 mètres.

§ 4. — *Longueur à donner à une section de conduite.*

Étant donné le tracé suivi par la ligne, les formules établies dans les paragraphes précédents permettent de calculer pour chaque section un maximum de la résistance qu'elle présente au tirage des câbles et, par suite, de déterminer la longueur à donner à une section quelconque pour que sa résistance ne dépasse pas celle d'une

section de 500 mètres en ligne droite. Soit, par exemple, une section renfermant :

1° Des courbes de niveau à grand ou à petit rayon correspondant à une longueur totale de tuyaux courbes égale à a';

2° Des courbes situées dans des plans verticaux (passages au-dessous d'obstacles tels qu'aqueducs, égouts, conduites d'eau, de gaz, etc.) et formées par des tuyaux courbes d'un longueur totale égale à a'';

3° Des courbes à grand rayon situées également dans des plans verticaux.

Ainsi que nous l'avons vu, ces dernières courbes sont négligeables au point de vue du tirage des câbles. Quant aux courbes à petit rayon situées dans des plans verticaux, elles produisent le même effet que si elles étaient de niveau. On ajoutera par conséquent a'' à a'; soit $a' + a'' = a$. D'après la formule (4) la longueur L à donner à la section est

$$L = 500 - 30a,$$

Si, en outre, dans cette section la sortie de la conduite est à une hauteur h au-dessus de l'entrée, cette différence de niveau a pour effet d'augmenter la tension T d'une valeur égale à ph. Or ph ou $p \times \frac{h}{f} \times f$ représente la résistance de frottement due à une longueur $\frac{h}{f}$ en ligne droite. Pour compenser l'accroissement ph de la résistance de frottement dû à la hauteur h, il suffira donc de réduire la longueur de la section de $\frac{h}{f}$ ou, en prenant $f = \frac{1}{3}$, de $3h$, ce qui donne

$$L = 500 - (30a + 3h), \tag{12}$$

la différence de niveau h pouvant d'ailleurs être positive ou négative suivant que la sortie de la conduite est plus élevée ou moins élevée que l'entrée. Le terme de correction ($-3h$) est toujours assez faible.

Prenons comme exemple la section AB représentée par la *fig.* 10 et renfermant :

Fig. 10.

1° Une courbe à grand rayon CD raccordant deux alignements droits AC et DE qui font entre eux un angle correspondant à $2^{m},35$ de tuyau courbe;

2° En E un passage au-dessous du lit d'un ruisseau GH, lequel est effectué comme l'indique en coupe la *fig.* 9, c'est-à-dire à l'aide de quatre tuyaux courbes ayant chacun $0^{m},50$ par exemple;

3° En F un tuyau courbe de $0^{m},80$ de longueur raccordant les deux alignements droits EF et FB.

La somme de toutes ces longueurs de tuyaux courbes est

$$2^{m},35 + 4 \times 0^{m},50 + 0^{m},80 = 5^{m},15.$$

Par suite, la longueur à donner à la section sera

$$L = 500 - 30 \times 5,15$$

ou

$$L = 345^{m},5.$$

On prendra par exemple $L = 350$ mètres.

Supposons maintenant que l'on trouve que la hauteur de B au-dessus de A soit de 8 mètres, on retranchera $3 \times 8 = 24$ mètres de la longueur calculée précédemment, ce qui donnera

$$L = 500^{m} - 30 \times 5,15 - 3 \times 8^{m} = 321^{m},5,$$

soit en chiffres ronds

$$L = 320^{m}.$$

En donnant à la section une longueur de 320 mètres ou même de 330 mètres, on sera certain que le tirage des câbles dans cette section sera au moins aussi facile que dans une section de 500 mètres en ligne droite horizontale.

§ 5. — *Des chambres de tirage.*

En certains sommets d'angles, au lieu de raccorder les alignements droits AB et CD (*fig.* 11) soit par des tuyaux courbes, soit par des courbes à grand rayon, on installe des chambres d'angle dites chambres de tirage. Soit φ l'angle des deux alignements AB et CD ainsi raccordés par une chambre de tirage. Le centre de la chambre est exactement au sommet de l'angle φ. Entre les portions de conduite AB et CD, qui débouchent dans la chambre, les câbles pendant le tirage passent sur une poulie de renvoi P à axe vertical placée dans la chambre, comme l'indiquent les figures 11 (plan d'ensemble), 12 (coupe verticale de la poulie de renvoi sur laquelle passe le câble ABCD) et 13 (section horizontale de la gorge de la poulie et du tourillon).

Fig. 11.

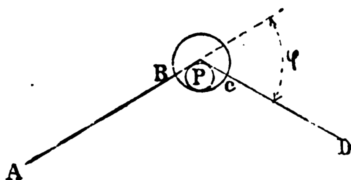
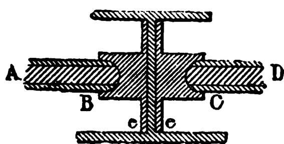


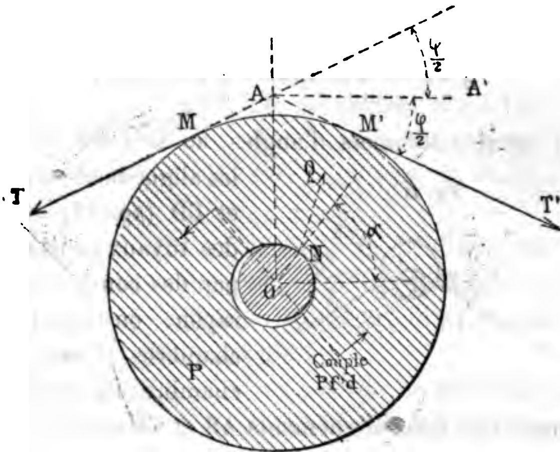
Fig. 12.



Par l'emploi de la chambre de tirage on supprime l'effet de l'angle φ au point de vue du tirage, c'est-à-dire que l'on diminue notablement la résistance de frottement. Pour nous rendre compte de ce fait considérons le

système formé par la poulie P (*fig.* 13) et la longueur MM′ des câbles appuyée contre la gorge de la poulie. Ce système est en équilibre sous l'action des forces suivantes :

Fig. 13.



Les tensions T et T′ auxquelles sont soumis les câbles en M et M′ respectivement;

Le poids de la longueur MM′ des câbles, que nous pouvons négliger ;

Le poids P de la poulie ;

La réaction verticale de l'épaulement *ee* (*fig.* 12) qui fait équilibre au poids P ;

Le frottement de la poulie sur son tourillon et sur son épaulement *ee*.

Soit R le rayon de gorge de la poulie; ρ son rayon intérieur, qui est sensiblement celui du tourillon ; ρ_1 le rayon extérieur de la poulie à sa base *ee* ou rayon extérieur de l'épaulement. Soit Q le frottement de la poulie sur son tourillon, qui est une force horizontale, N son point d'application ; α l'angle du rayon ON avec la per-

pendiculaire à OA; f et f' les coefficients de frottement respectifs de la poulie sur le tourillon et sur l'épaulement.

Le frottement de la poulie sur l'épaulement donne lieu à un couple horizontal égal à $Pf'd$, d étant égal à

$$d = \frac{2}{3} \cdot \frac{\rho_1^3 - \rho^3}{\rho_1^2 - \rho^2}.$$

Si l'on projette les forces énumérées ci-dessus sur le rayon OA et ensuite sur la perpendiculaire à OA, on aura les deux équations d'équilibre

$$(T' + T)\sin\frac{\varphi}{2} - \frac{Q}{\sqrt{1+f^2}}\sin\alpha - \frac{Qf}{\sqrt{1+f^2}}\cos\alpha = 0.$$

$$(T' - T)\cos\frac{\varphi}{2} + \frac{Q}{\sqrt{1+f^2}}\cos\alpha - \frac{Qf}{\sqrt{1+f^2}}\sin\alpha = 0,$$

En prenant les moments des forces par rapport à l'axe de la poulie, on aura une troisième équation

$$(T' - T)R - \frac{Qf}{\sqrt{1+f^2}}\rho - Pf'd = 0.$$

Éliminons les inconnues Q et α entre ces trois équations. On trouve pour T' l'expression suivante

$$\frac{+ f^2R(TR + Pf'd) - Tf^2\rho^2\cos\varphi}{(1+f^2)R^2 - f^2\rho^2}$$

$$\frac{\sqrt{[(1+f^2)R(TR+Pf'd) - Tf^2\rho^2\cos\varphi]^2 - [(1+f^2)R^2 - f^2\rho^2][(TR+Pf'd)^2(1+f^2) - T^2f^2\rho}}{(1+f^2)R^2 - f^2\rho^2}$$

Les quantités f, f', $\frac{\rho}{R}$, $\frac{d}{R}$ étant très petites, on peut négliger les produits de trois facteurs de cet ordre, c'est-à-dire les termes du 3[e] ordre par rapport à l'unité. On trouve ainsi

$$T' = T\left[1 + 2f\frac{\rho}{R}\sin\frac{\varphi}{2}\right] + Pf'\frac{d}{R}.$$

L'accroissement de tension dû au passage des câbles sur la poulie de renvoi est par conséquent

$$T' - T = 2fT\frac{\rho}{R}\sin\frac{\varphi}{2} + Pf'\frac{d}{R}.$$

Supposons, par exemple, que l'on ait

$$T = 100^{\text{kilog.}};\quad P = 5^{\text{kil.}};\quad f = f' = \frac{1}{10};$$
$$\frac{\rho}{R} = \frac{1}{5};\quad \frac{d}{R} = \frac{2}{5};\quad \varphi = \frac{4}{5}(\text{angle de } 46^{\circ}),$$

on aura

$$T' - T = 1^{\text{kg}},8,$$

tandis que, si l'on faisait usage de tuyaux courbes pour raccorder les alignements AB et CD, l'accroissement de frottement en résultant serait environ de 30 kilog.

Dans la pratique on pourra donc, au point de vue du tirage, et pour l'évaluation des longueurs à donner aux sections, négliger tous les angles franchis à l'aide de de chambres de tirage.

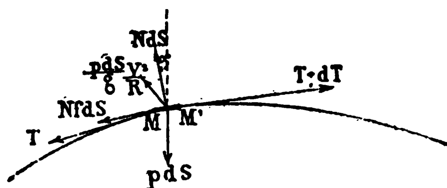
§ 6. — *Des causes secondaires qui peuvent modifier les résultats des calculs précédents.*

Dans tous les calculs précédents nous avons négligé la force d'inertie des câbles. Si la vitesse du tirage est constante, ce qui a lieu effectivement, la force d'inertie est nulle dans les parties en ligne droite. Dans les courbes elle n'est pas nulle; mais elle est très faible et négligeable en raison de la lenteur du tirage, ainsi qu'il est facile de le vérifier par le calcul.

Reprenons, en effet, les équations d'équilibre du § 2 par exemple. L'équilibre n'aura lieu en réalité que si l'on introduit la force d'inertie de l'élément MM' (*fig.* 14).

Cette force est dirigée en sens inverse du rayon de courure de la courbe et est égale à $\frac{pds}{g} \cdot \frac{V^2}{R}$, g désignant

Fig. 14.



l'accélération terrestre $= 9{,}81$ et V la vitesse de tirage évaluée en mètres par seconde. Les équations d'équilibre deviendront dès lors

$$NdS \cos \alpha - pdS = 0,$$
$$NdS \sin \alpha + \frac{pdS}{g} \cdot \frac{V^2}{R} - Td\varphi = 0,$$
$$(T + dT) - T - NfdS = 0.$$

On tire de là en remarquant que $dS = Rd\varphi$

$$dT = fd\varphi \sqrt{\left(T - \frac{p}{g} V^2\right)^2 + p^2R^2}$$

ou

$$d\left(T - \frac{p}{g} V^2\right) = fd\varphi \sqrt{\left(T - \frac{p}{g} V^2\right)^2 + p^2R^2}.$$

Cette équation différentielle est la même que celle du § 2, sauf que T est remplacé par $\left(T - \frac{p}{g} V^2\right)$. En l'intégrant on devra donc retrouver la formule (2) dans laquelle T_0 et T seront remplacés par $\left(T_0 - \frac{p}{g} V^2\right)$ et $\left(T - \frac{p}{g} V^2\right)$. Or, si la vitesse du tirage est de 500 mè-

tres par heure, on a

$$V = \frac{500}{60 \times 60} = \frac{1}{7.2}$$

et

$$\frac{p}{g} V^2 = \frac{p}{508}.$$

si la vitesse V est de 500 mètres en une demi-heure

$$\frac{p}{g} V^2 = \frac{p}{127} = p \times 0^m,024 \times f,$$

en prenant pour la valeur de f : 1/3 ; c'est-à-dire que les valeurs de T_0 et de T dans la formule (2) devront être diminuées de $p \times 0^m,024 \times f$. Cette expression représente le frottement d'une longueur de $0^m,024$ en ligne droite.

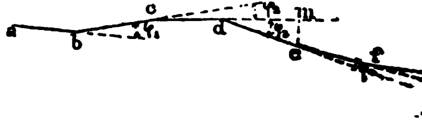
On voit donc que même avec une vitesse de tirage assez grande le terme $\left(\frac{p}{g} V^2\right)$ provenant de la force d'inertie modifie les formules d'une manière tout à fait insignifiante.

Diverses autres causes peuvent encore modifier les formules des paragraphes précédents. Par exemple, si au moment du tirage la conduite est pleine d'eau ou seulement très humide, l'effet du talc dont on enduit les câbles sera détruit et le frottement sera beaucoup augmenté. De là la nécessité d'avoir une conduite étanche pour éviter l'infiltration des eaux souterraines.

Le frottement sera également augmenté si l'alignement de la conduite est défectueux. Si, par exemple, dans un alignement qui devrait être droit, les tuyaux *ab*, *bc*, *cd*,... forment une ligne brisée comme l'indique la *fig.* 15, chacun des angles φ_1, φ_2, φ_3,... que forment les tuyaux deux à deux a pour effet d'augmenter la valeur donnée par la formule (3) pour la tension T. On devrait

donc dans les calculs tenir compte de ces angles et comprendre dans la valeur de φ (formule (3)) la somme $\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 ...$ (*fig.* 15).

Fig. 15.



Pour se rendre compte pratiquement de l'importance d'un angle tel que φ_3 par exemple, mesurons la distance *em* de l'emboîtement *e* au prolongement du tuyau *cd*. Soit 2 mètres la longueur d'un tuyau *de* et soit *d* la distance *em*. On a

$$\varphi_3 = \frac{em}{de} = \frac{d}{2},$$

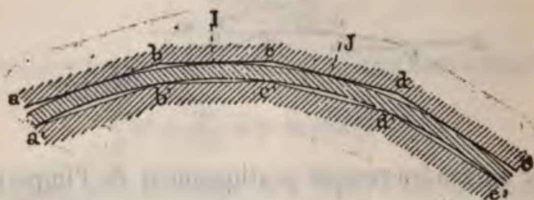
et la longueur correspondante de tuyau courbe est $5\varphi_3$ ou $\frac{5d}{2}$. Ainsi, si $d = 0^m,02$, $\varphi_3 = 0,01$, et si l'on a 20 joints semblables à celui-là, la somme des angles $\varphi_1 + \varphi_2 ...$ sera égale à 0,20 et correspondra à 1 mètre de tuyau courbe. La correction à faire dans ce cas sera très importante. On comprend par là tout l'intérêt que l'on a à avoir une conduite alignée aussi parfaitement que possible.

§ 7. — *De la courbure maximum qu'il est possible de donner aux courbes à grand rayon.*

Considérons un des cas les plus défavorables de tirage, savoir le tirage de trois câbles de $0^m,016$ de diamètre dans une conduite de $0^m,040$. Si les trois câbles restaient tangents deux à deux pendant toute l'opération, le dia-

mètre du cylindre circonscrit serait de 0m,0345. Mais comme il n'en est pas ainsi et qu'en certains points exceptionnellement les câbles peuvent avoir un diamètre supé-

Fig. 16.



rieur à 0m,016, au lieu de 0m,0345 nous prendrons 0m,037 et nous supposerons les trois câbles remplacés par un seul de 0m,037 de diamètre. Dans ces conditions il reste un jeu de 0m,040 — 0m,037, soit 0m,003. Si les tuyaux *aba'b'*, *bcb'c'*,... suivent un tracé en ligne courbe, le câble se cintrera comme l'indique la fig. 16 et s'appuiera sur les arêtes *a'*, *b'*, *c'*... Tant que la courbe sera assez douce, le câble ne touchera pas les parois *ab*, *bc*;... mais il viendra s'y appuyer plus ou moins fortement dès que l'on forcera trop sur les joints *aa'*, *bb'*, *cc'*,... et que l'on cintrera trop la ligne. La réaction de ces parois contribuera alors à augmenter la pression du câble contre les arêtes *a'*, *b'*,... et par suite à augmenter le frottement.

Pour éviter cet inconvénient, il faut donc, donner à la ligne une courbure telle que le câble ne touche pas, s'il est possible, les parois *ab*, *bc*,.... ou vienne au plus les toucher en leurs milieux I, J,... Si le contact a lieu en I et J, la flèche de l'arc de courbe IJ formé par le câble est précisément égal au jeu de 0m,003 existant entre le milieu de cet arc et le sommet *c* des tangentes I*c* et J*c*. D'autre part, si le rayon de la courbe est R, l'arc IJ étant

égal à la longueur d'un tuyau, c'est-à-dire 2 mètres, la flèche est $\frac{\overline{IJ}^2}{8R} = \frac{1}{2R}$. Donc $\frac{1}{2R} = 0^m,003$, d'où : R = 167 mètres. Cette valeur du rayon devra être considérée comme un minimum. Il sera même préférable de choisir un minimum plus élevé et d'éviter de tracer des courbes de moins de 200 mètres de rayon.

VASCHY,
Sous-ingénieur des télégraphes.

LE
QUADRUPLE IMPRIMEUR SCHAEFFLER

Cet appareil n'est pas nouveau. Il a figuré à l'Exposition de 1878; et, dans la récente Exposition d'électricité, une place importante lui était réservée dans la section autrichienne. Le principe sur lequel il repose est celui du combinateur, trouvé et appliqué d'une façon si heureuse par M. Baudot. Et l'on peut dire que l'appareil Schaeffler est essentiellement un Baudot à manipulateur composé. Comme on le verra plus loin, l'auteur a aussi fait plusieurs emprunts habiles au Hughes et au Meyer. Ce n'est pas à dire que l'appareil ne présente de l'originalité dans la soudure, en quelque sorte, de ces divers emprunts. Et c'est à ce titre que nous avons cru devoir en donner, dans les *Annales*, une description, un peu sommaire toutefois, en prenant pour guide l'article de M. Teufelhart, publié dans l'*Electrotechnische Zeitschrift* (septembre 1881).

Nous décrirons successivement le distributeur et les organes de manipulation, le relais-combinateur, l'appareil imprimeur et le régulateur, en insistant spécialement sur la distribution et le combinateur, qui offrent particulièrement de l'intérêt.

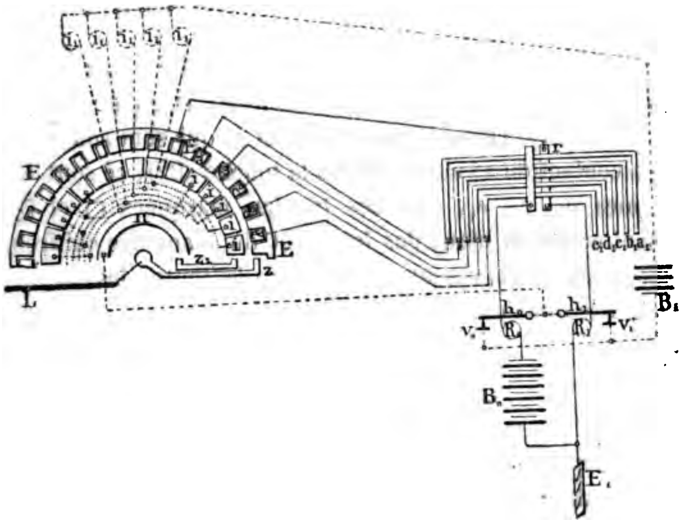
DISTRIBUTEUR ET MANIPULATEUR

La surface du distributeur porte 42 contacts; 21 sont affectés à la décharge et communiquent électriquement

entre eux ; les autres sont isolés et correspondent, par groupes de 5, à chaque manipulateur, au moyen des lames a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 (*fig.* 1), qui sont reliées respectivement aux 5 contacts *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. Pendant la manipulation, ces lames viennent toucher la tige *s* reliée à la pile de ligne B_0 à travers le relais local R_0. La tige *r*, qui correspond au repos des lames, est reliée à la terre à travers le relais de la ligne R. Le second pôle de la pile B_0 va directement à la terre.

Si l'on manipule, les lames sont soulevées au contact de la tige *s*. Le courant de ligne passe alors de *s* dans un des 5 contacts *a*, *b*, *c* *d*, *e* ; de là il se rend au poste récepteur par l'intermédiaire du bras *z* du chariot et du fil de ligne L ; puis à la terre à travers la tige *s* et le

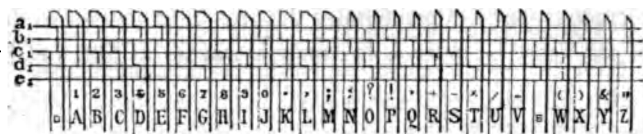
Fig. 1.



relais R, de ce poste *fig.* 1. Au départ, la palette h_0 s'appuie pendant l'émission sur la vis v_0 ; à l'arrivée *h*,

s'appuie sur v_1; dans les deux cas, le circuit de la pile locale B, se trouve formé à travers v_0, h_0 (ou v_1 h_1), l'anneau *n*, le bras *z*, (isolé de *z*), les contacts locaux *i*, et les relais i_1. Les palettes des relais *i*, ainsi actionnées ne font que *préparer* l'impression, cette dernière fonction étant dévolue à un organe spécial. Chaque caractère correspond à une combinaison déterminée de courants. Pour épargner aux télégraphistes la peine de former eux-mêmes ces combinaisons, l'inventeur a employé comme manipulateur un clavier Hughes (*fig.* 2). Si

Fig. 2.



on abaisse une touche, un nombre défini de lames vient s'appuyer sur *s*. Ainsi, par exemple, si on abaisse la touche (A1), ce sont les lames *a*, et *e*, qui sont soulevées au contact de *s*; si on abaisse la touche (B2), ce sont les lames a_1, c_1, e_1, etc. Les touches marquées □ et ⊡ sont celles du blanc des lettres et du blanc des chiffres.

La *fig.* 2 représente l'ensemble de toutes les combinaisons que l'on réalise. (*)

LE RELAIS-COMBINATEUR (**).

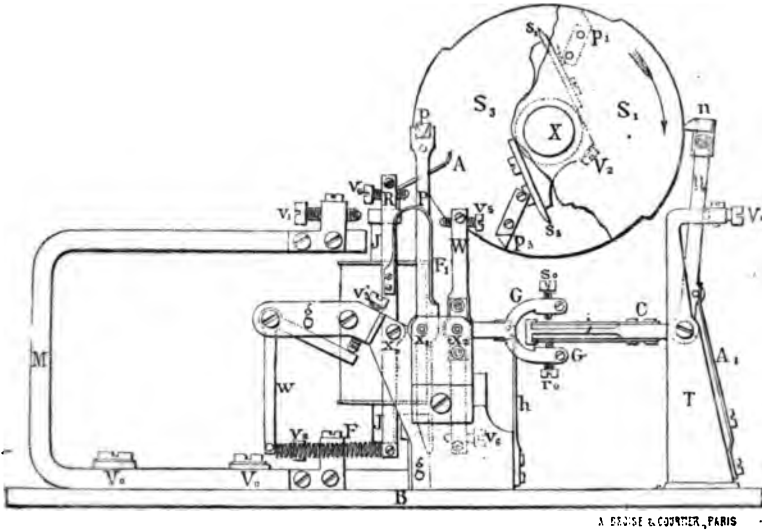
Marqué *i*, dans la *fig.* 1, il est représenté plus en détail dans la *fig.* 3.

(*) Cette figure est facile à comprendre : les parties évidées indiquent que la lame reste au repos lorsque la touche est abaissée; les parties pleines, que la lame est soulevée.

(**) *Das Permutations-relais.*

Il n'y a en tout que 10 de ces relais, pour les 4 récepteurs, un groupe de 5 étant affecté à 2 secteurs diamétralement opposés. Dans la figure tout appartient au

Fig. 3.



secteur n° 1, sauf les parties M, J, R, A, qui sont communes, et les pièces S_3, p_3, s_3, qui sont au 3° secteur.

M est un aimant permanent fixé à la table au moyen des vis V_0, et dont la branche inférieure est prolongée par une plaque polaire verticale. J est le noyau d'un électro-aimant monocnème, emboîté dans une pièce R mobile autour de X_0, et dont la course est réglée par les vis v_1 et v_2. Le support g où sont fixées les vis x_0 embrasse aussi la vis v_3 qui agit sur le ressort F par l'intermédiaire du levier coudé W. A l'état normal le noyau J repose près des pôles de l'aimant M. Si un courant vient provoquer l'aimantation du fer doux, l'action du ressort F se trouve favorisée, et la bobine J, l'*Impulsa-*

teur (*), entraînant la pièce B avec la vis d'impulsion v_4, se porte sur le levier prismatique P, mobile autour de X, et le pousse vers la droite; de telle sorte que le petit prisme p à 3 faces, qui le surmonte, est amené dans le champ de révolution d'un autre petit prisme p_1 fixé sur la face intérieure d'un disque S_1 animé d'un mouvement de rotation constant.

La vis v_2 limite la course de l'impulsateur de manière que le levier P s'appuie légèrement sur la vis v_2 sans toutefois exercer d'effort sur cette dernière. Il reste pour ainsi dire emprisonné entre v_4 et v_2 jusqu'à ce que le prisme p_1, s'avançant dans le sens de la flèche, saisisse p à gauche et appuie P contre le levier inverseur W. Celui-ci, mobile autour de x_2, s'incline et entraîne la fourchette G qui en est solidaire. Le levier à ressort H pénètre alors dans l'encoche supérieure et maintient la fourchette G dans sa dernière position. Ce dernier organe détermine, à l'aide de ses 2 vis s_0 et r_9, le passage du courant local imprimeur, qui arrive par le support T, le levier C muni de ressorts à languettes, et passe de s_0 dans la fourchette, lorsque l'impulsateur a parlé. Si ce dernier est inactif et occupe sa position de repos, la fourchette est isolée, et la vis r_0 appui sur C.

Dès que le prisme p_1 a fait abaisser la fourchette, un anneau fixé sur l'axe du combinateur X et maintenu par le vis v_2 amène une languette s_1 qui saisit le bras A formant ressort, et replace l'impulsateur J dans sa position de repos, près des pôles de l'aimant M. Dès lors toute pression cesse sur le levier P, et un ressort courbe F_1, fixé à R, le ramène en arrière aussi loin que le permet la vis limite v_6. *Mais le levier inverseur W et la fourchette*

(*) *Der Impulsator.*

G restent inclinés. La position de la vis v_6 est réglée de telle façon que le prisme p, dans la nouvelle position occupée par le levier P, puisse être saisi à droite par p_1 après une révolution du disque.

Dès lors, l'impulsateur se trouvant déjà dans sa position de repos, la partie supérieure du levier P s'applique *sans effort* contre la vis d'impulsion v_4; tandis que la partie inférieure presse sur le vis v_6 et met le levier inverseur W dans sa position normale; par suite, la fourchette G est soulevée, et le levier h glisse dans l'encoche inférieure.

Le levier c, second bras du levier coudé Hc, occupe une place déterminée par rapport aux vis s_0 et r_0 par suite de la rotation du disque.

Il suit de là que le levier P peut occuper trois positions :

1° La *position de repos* qui correspond à l'impulsateur placé près des pôles de l'aimant. Le petit prisme p est hors de la circonférence décrite par p_1;

2° La *position renversée* où il repose sur v_5 par suite de l'impulsion donnée par J. Le prisme p est à portée de p_1 (*);

3° La *position intermédiaire* où il est amené par le ressort F_1. Le prisme p est encore hors de la circonférence de p_1.

Si l'impulsateur était actionné d'une façon continue à chaque révolution du chariot (ce qui arriverait si l'on voulait, par exemple, imprimer successivement toutes les lettres de A et M, la lame a_1 se trouvant alors reliée à la ligne à chaque révolution), le prisme P ne reviendrait

(*) C'est-à-dire que p_1, dans ce cas, saisirait p *à gauche* et solliciterait le levier P' vers la droite. Ne pas confondre ce cas avec le suivant, où p_1 ne ferait que glisser sur la *face de droite* du prisme p et ramènerait ce dernier à sa position de repos.

jamais à sa position de repos. Il est facile de s'en convaincre, puisque le levier W et la fourchette G seraient déjà inclinés lorsque le petit prisme p_1 arriverait au contact de p.

Le pourtour du disque est muni d'échancrures; de telle sorte que, par l'intermédiaire du bec isolé n (*fig.* 3), le bras c peut reposer sur la vis s_0 ou la vis r_0. La vis V_1 règle la course du levier coudé H, et le ressort A_1 presse constamment le bec n sur le pourtour du disque.

Il est clair que l'impulsateur ne doit pas agir sur P au moment où le prisme p_1 arrive sur p; il faut donc que les courants qui actionnent le premier organe arrivent avant que les deux derniers soient au contact. Pendant que le chariot parcourt le quart du distributeur, le courant local doit pouvoir pénétrer dans les cinq relais-combinateurs; si on eût employé cinq impulsateurs séparément pour chaque récepteur, il eût pu arriver que p_1, bien que tournant d'une façon continue, n'eût pu atteindre p durant cette période. Mais un même impulsateur sert à la fois à deux récepteurs; il peut donc être actionné deux fois dans une même révolution du chariot; les deux leviers P et P' (*) avec leurs petits prismes p et p' se trouvent dès lors à portée des prismes p_1 et p_3. Le synchronisme du mouvement des disques s_1 et du chariot doit donc être tel, que le temps qui s'écoule depuis le choc de tous les impulsateurs d'un même récepteur, jusqu'au passage devant les prismes fixes des prismes mobiles, ne dépasse pas le temps que met le chariot à parcourir un secteur du distributeur. De cette façon, les prismes p_1 du premier récepteur agiront lorsque le cha-

(*) P', p' et p_3 appartiennent au troisième récepteur.

riot parcourra le secteur correspondant au second récepteur, et ainsi de suite.

L'axe du combinateur communique avec l'appareil imprimeur au moyen d'un engrenage conique.

Le moteur du mécanisme d'impression, placé à la partie centrale, fait mouvoir les deux axes des combinateurs placés à ses côtés.

Chaque arbre porte dix disques (s_1, s_3) à frottement doux, avec leurs prismes respectifs (p_1, p_3) et leurs languettes (s_1, s_3). C'est au milieu d'un couple (S_1, S_3) qu'est installé chaque relais de la *fig.* 3.

Il nous reste à examiner le mode d'action du prisme P′ que l'impulsateur choque en même temps que P. Il y a pour cela deux cas à considérer : Le troisième employé est inactif, ou bien il transmet ou reçoit.

Dans le premier cas, le levier P′ se renverse en même temps que P ; et, lorsque la languette s_1 ramène l'impulsateur en arrière après le passage du prisme p_1, les deux leviers P et P′ prennent la position intermédiaire, où les prismes p et p' sont en dehors des cercles décrits par p_1 et p_3. Ce dernier s'avançant saisit p' *à droite* et ramène ainsi doucement P′ contre l'impulsateur qui occupe sa position de repos.

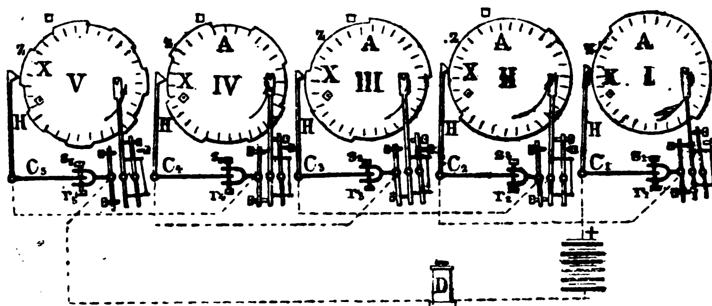
Dans le second cas, les deux prismes P et P′ occupent la position intermédiaire lorsque le courant émis par le troisième secteur actionne l'impulsateur qui ramène les deux organes précédents à la position renversée. Le prisme p_3 trouve dès lors p_1 à sa portée, fait abaisser le levier inverseur W′ ; puis les prismes P et P′ reviennent à la position intermédiaire, par suite de retour en arrière de l'impulsateur.

Dans l'appareil Baudot, les palettes, une fois actionnées sont ramenées au repos par un courant de sens

contraire. Dans le Schaeffler, ce but est atteint par un moyen mécanique; et, tandis que le premier occupe constamment la ligne par des courants de différents sens et d'intensités variables, le second n'envoie que des courants de même sens, et décharge la ligne à travers E, *r* et R_1 (voir *fig.* 1; c'est d'ailleurs le même dispositif que dans le Meyer).

La *fig.* 4 représente les dispositions précédentes, et met en évidence la marche du courant local. Les disques I, II, III, IV, V sont divisés en 30 parties égales, dont

Fig. 4.



28 reproduisent, exactement dans le même ordre, les parties évidées ou pleines de la *fig.* 2. Le disque I correspond à la série *a*, etc.

Les leviers *c* ne peuvent toucher les vis supérieures qu'autant que l'impulsateur a été actionné. Les vis inférieures *r*, au contraire, correspondent à la position de repos de l'impulsateur. Toutefois, grâce aux échancrures des disques, les leviers *c* peuvent effectuer plusieurs oscillations entre les vis *s* et *r* avant la fermeture du courant d'impression. Si la fourchette occupe sa position normale, les vides des disques produisent le contact de

c avec r; les pleins soulèvent les leviers c, *sans toutefois les amener au contact des vis supérieures.*

Si, au contraire, la fourchette est abaissée, l'inverse se produit; l'effet des pleins est d'établir le contact de c avec s; les creux rompent ce contact sans amener les leviers sur les vis inférieures. Il est aisé, d'après cela, de se rendre compte du fonctionnement du combinateur et de voir que le circuit du courant imprimeur ne sera fermé qu'autant que la combinaison correspondante à la touche abaissée se trouvera réalisée en face des becs H. Il est bien évident d'ailleurs que cinq échancrures ne peuvent ni ne doivent s'offrir simultanément, sinon le circuit imprimeur se trouverait fermé sans qu'aucune touche ait été abaissée.

Dans la *fig.* 4, le caractère soumis à l'impression serait X (voir aussi la *fig.* 2).

Le relais d'impression D est un électro-aimant polarisé système Hughes.

L'APPAREIL IMPRIMEUR.

L'axe X, mis en mouvement par un second moteur placé dans le même bâti, communique, comme nous l'avons dit, avec l'axe de la roue des types par l'intermédiaire d'un engrenage conique.

Sur cet axe sont montées, comme dans le Hughes, une roue à rochet, une roue correctrice et une roue des types. Une roue dentée et un pignon transmettent le mouvement au volant et à la petite roue de rochet d'échappement. L'enclanchement des deux axes, d'impression et de la roue des types, se produit d'ailleurs comme dans l'appareil Hughes (*). Quant aux électro-aimants,

(*) Il n'y a de différence que dans les accouplements dont il va être parlé.

ils ne diffèrent de celui de l'appareil précédent que par l'horizontalité de leurs aimants permanents.

Il est inutile d'entrer dans les détails des organes qui concourent à l'impression d'un caractère, et qui sont sensiblement les mêmes que dans le Hughes.

Le cliquet d'échappement peut glisser sur deux prismes à trois faces, placés, l'un au-dessous, l'autre au-dessus de l'axe d'impression. L'échappement possède aussi deux prismes à quatre faces diamétralement opposés, pour recevoir le biseau postérieur du levier d'échappement. On a également doublé le colimaçon et la came correctrice. Ces accouplements ont été nécessités par la possibilité d'obtenir le blanc des lettres ou le caractère A immédiatement après le Z.

On sait que l'axe imprimeur du Hughes tourne sept fois plus vite que l'axe de la roue des types; ce qui fait qu'on ne peut imprimer, dans les révolutions successives du premier axe, que les caractères de cinq en cinq. Dans l'appareil Schaeffler, on doit, après le *z*, pouvoir produire le blanc □ (qui occupe la troisième case après ce caractère) ce qui n'est pas possible avec le rapport $\frac{2}{15}$ des vitesses. Ce rapport devant tomber à la valeur de $\frac{1}{15}$, l'inventeur a dû introduire les accouplements dont on a parlé plus haut.

La roue correctrice possède trente creux dont deux ne servent pas; ce sont ceux qui correspondent aux deux cases vides, entre le *z* et le □ (*fig. 4*). Quant à la roue des types, elle ne présente que 52 saillies (au lieu de $2 \times 30 = 60$), un espace total de huit creux correspondant aux deux cases nulles et aux deux blancs.

Nous n'insisterons pas sur le mécanisme du passage

des lettres aux chiffres et réciproquement, qui ne diffère pas de celui du Hughes. Pour ce qui est du rappel au blanc, il n'y a qu'une différence : en abaissant le levier sur le ressort isolé, Hughes relie directement le massif de l'appareil à la ligne, et mène le courant de ligne à la terre sans traverser les bobines de l'électro-aimant; tandis que dans le Schaeffler, le ressort est relié au relais imprimeur, et on produit une interruption dans le circuit du courant d'impression.

LE RÉGULATEUR.

Nous ne dirons qu'un mot du régulateur qui n'est pas de conception récente.

L'écart entre l'axe du combinateur et le chariot du distributeur ne doit pas dépasser un quart de révolution.

Pour réaliser ce but, on avait d'abord adopté une disposition où les axes d'impression et du chariot étaient animés par des moteurs distincts, et où les écarts étaient réglés par des courants électriques agissant sur un électro-aimant frein. Cette disposition n'ayant pas donné les résultats qu'on en attendait, on est revenu à un système de régulation mécanique. C'est un genre de moteur qui a pour but unique de maintenir l'accord entre l'axe du combinateur et le chariot. Le moteur affecté spécialement au premier organe a par suite été supprimé.

Sur l'axe du combinateur est monté un disque en laiton sur lequel sont placés six électro-aimants en cercle, réunis entre eux de façons à former deux groupes polarisés en sens inverse. Ces six électros peuvent tourner vis-à-vis de dix autres électros fixes, semblables et disposés également en cercle. Les extrémités du fil des premiers communiquent

avec deux lames servant à l'entrée et à la sortie du courant local. Quant aux électros fixes, ils sont reliés à dix contacts encastrés dans le disque du distributeur; un bras mobile avec le chariot maintient une communication permanente, mais variable, entre deux contacts diamétralement opposés. Il résulte de là que les dix électro-aimants fixes sont constamment partagés en deux groupes de cinq polarisés en sens contraire. Ces groupes s'intervertissent d'ailleurs avec le mouvement de rotation du bras.

Les actions qui s'exercent entre ces quatre groupes mettent l'axe imprimeur en mouvement, et entretiennent ce mouvement.

Le retard que subit cet axe au moment de l'impression est d'ailleurs corrigé dans chaque révolution, le bras du distributeur tournant sans entrave.

Le système de correction Meyer a été appliqué pour maintenir l'accord entre les axes des chariots des deux stations en correspondance.

X. SCHAEFFER,
Élève ingénieur des télégraphes.

HISTOIRE

DE LA

DÉCOUVERTE DU TÉLÉPHONE PARLANT

DE M. GRAHAM BELL.

PAR M. LE COMTE DU MONCEL.

Dans l'exposé modeste qu'il a fait de l'invention du téléphone, M. Graham Bell n'avait pas indiqué les différentes expériences successives qui l'avaient conduit à cette invention; aucune réclamation de priorité ne s'étant alors produite, il n'avait pas à entrer dans ces détails, et, d'ailleurs, son caractère extrêmement réservé ne l'y portait pas; mais quand MM. Edison et Elisha Gray voulurent poser leurs droits à cette découverte (*), quand deux procès survinrent à cette occasion, ces détails n'étaient plus inutiles, et il fallut les rechercher de tous les côtés. Or, il résulte de toutes les enquêtes faites pendant le cours du procès, et qui remplissent quatre gros volumes, des documents d'un grand intérêt pour l'histoire de cette découverte, et que nous croyons intéressant de résumer ici, ne serait-ce que pour montrer par quels chemins tortueux une grande découverte doit passer avant

(*) Ce qui est curieux, c'est que ces revendications n'ont été faites que plus d'un an après la description, par tous les journaux du monde entier, des expériences de M. Bell, ce qui montre que les auteurs de ces revendications n'avaient, dans l'origine, attaché qu'une médiocre importance à cette invention, et il a fallu que le succès couronnât l'œuvre de M. Bell, pour les faire sortir de leur indifférence à ce sujet.

d'arriver anx résultats importants qu'elle est appelée à réaliser.

Nous devons commencer par dire, tout d'abord, qu'il est résulté des enquêtes du procès et des pièces justificatives qui ont été produites, que dès l'année 1874, M. Graham Bell s'occupait de la transmission électrique de la parole. Ses premières recherches dans ce but remontent, en effet, au 26 juillet 1874. Mais ce n'est que le 2 octobre de cette même année que ses idées purent se préciser et prendre un certain corps. Après avoir étudié les beaux travaux de M. Helmholtz sur la combinaison des sons, il pensa que si deux électro-aimants placés aux deux extrémités d'un circuit avaient pour armature une série de tiges de fer de différentes longueurs et placées exactement dans les mêmes conditions aux deux stations, les sons de la parole pourraient impressionner telles ou telles tiges, suivant qu'elles s'accorderaient plus ou moins avec leur son fondamental, et qu'il pourrait résulter de ces tiges, au poste transmetteur, des extra-courants d'induction capable de faire reproduire de pareilles vibrations sur les tiges de longueur correspondante au poste de réception. C'était, comme on le voit, le germe des télégraphes harmoniques à transmissions multiples, et il paraît qu'à cette époque (juillet 1874), M. Bell avait déjà constaté, pour ce genre de reproduction des sons combinés, *la nécessité de courants continus et ondulatoires.* Quoi qu'il en soit, il fit part de ses idées à M. Clarence Blake et lui demanda même s'il croyait *qu'une simple lame attachée à une membrane ne pourrait pas suffire pour produire les effets décrits précédemment.* A cette époque, M. Bell n'était pas électricien et cherchait des conseils. Aussi allons-nous voir son idée se développer successivement.

Dans une lettre écrite à M. Hubbard au commencement de 1875, M. Bell lui fit part d'une conversation qu'il avait eue à ce sujet avec M. Henreish, qui lui conseillait de donner suite à son idée, et dans une autre lettre écrite également à M. Hubbard, le 4 mai 1875, il lui indique le moyen qu'il avait conçu de transmettre électriquement la parole en faisant en sorte que *les vibrations déterminées par le transmetteur pussent provoquer dans la résistance du circuit des changements proportionnels à ces vibrations*. Se reportant à un mémoire scientifique qu'il avait lu, il croyait pouvoir résoudre ce problème en faisant faire réagir un diaphragme devant lequel il parlait, sur un fil tendu traversé par le courant transmis, et il admettait que les différences de tension de ce fil, sous l'influence des vibrations produites, devaient entraîner dans la résistance du fil des changements proportionnels aux vibrations. Il paraît que les expériences qu'il entreprit alors réussirent, car, le 24 mai 1875, il écrivait à son père une lettre dans laquelle il lui annonçait qu'il était bien près de résoudre le problème qu'il cherchait. Nous ajouterons que, dans les expériences précédentes, il employait comme récepteur une disposition absolument semblable à celle du transmetteur.

Le 2 juin 1875, il constata qu'en employant deux électro-aimants boiteux dont les armatures étaient susceptibles de vibrer, il pouvait, en reliant électriquement ces électro-aimants et en intercalant une pile dans le circuit, faire en sorte que les vibrations de l'une de ces armatures fussent reproduites par l'autre, *sous l'influence des extra-courants qui résultaient des rapprochements et des éloignements de l'armature vibrante*. Or, cette expérience le conduisit immédiatement à penser qu'il pourrait obtenir *la transmission des sons sans pile, en remplaçant le*

noyau de fer des électro-aimants précédents par un noyau d'acier aimanté. Telle est l'origine du téléphone électro-magnétique de M. Bell, auquel il s'est particulièrement attaché. Effectivement, peu de temps après cette expérience, c'est-à-dire le 1er juillet 1875, il disposa ses électro-aimants de manière que leur armature fût reliée à une membrane tendue sur une sorte d'entonnoir, et il obtint des résultats tellement encourageants, qu'il put croire le problème bien près d'être résolu.

Au mois de septembre 1875, la question avait bien progressé, car, parmi les pièces du procès, on trouve une lettre de M. Bell à M. Hubbard, datée du 28 septembre, dans laquelle il lui parle d'une visite qu'il vient de faire à M. Brown, premier ministre des États du Canada, qui était alors à Torento, dans le but de lui expliquer ses idées relativement à la transmission électrique de la parole, et au désir qu'il avait de le charger de prendre en son nom des brevets en Angleterre et en Europe, alors qu'il les prendrait lui-même en Amérique. Il avait été convenu dans cette visite qu'il se mettrait de suite à rédiger le brevet et, effectivement, cette rédaction fut faite immédiatement et envoyée ; mais bien qu'elle n'ait pas été retrouvée parmi les papiers de M. Brown, qui avait été assassiné quelques mois après, on a pu s'assurer de son existence par quelques fragments des minutes qui avaient servi à la faire et qu'on a pu retrouver sur des envers de lettres écrites de Philadelphie, lesquelles en reportaient la date avant le 4 novembre 1875.

Nous insistons sur ces détails pour démontrer que la rédaction du brevet de M. Bell était bien antérieure à la date qu'on aurait pu lui supposer d'après celle de son dépôt, et voici pourquoi celui-ci ne fut pas fait plus tôt.

Continuant à ne pas recevoir de réponse de M. Brown, M. Bell retourna au Canada avant de prendre son brevet américain, et après avoir expliqué de nouveau son affaire à M. Brown, et lui avoir remis, le 29 décembre, les dessins nécessaires pour qu'il pût la bien comprendre, il fut convenu qu'à son prochain voyage en Angleterre, qui devait se faire sous peu de jours, M. Brown prendrait définitivement les brevets et qu'il en donnerait avis. Toutefois, cette convention ne fut pas exécutée, parce que les électriciens anglais auxquels M. Brown s'était adressé n'avaient pas trouvé l'invention assez sérieuse ; de sorte que, après avoir attendu quelque temps encore, M. Bell dut se décider à présenter sa demande de brevet à l'office des patentes américaines, et ce fut le 20 janvier 1876 que cette demande eut lieu ; mais le brevet ne fut présenté officiellement avec les formes de rigueur que le 14 février, et c'est ce même jour, deux heures après le dépôt de ce brevet, que fut présenté le *caveat* de M. Elisha Gray !!! Dans ce caveat, il n'était question que du téléphone parlant, mais cet appareil fonctionnait sous l'influence des variations de résistance d'une colonne liquide interposée dans le circuit téléphonique comme dans l'un des systèmes indiqués dans le brevet de M. Bell, et le dessin annexé à ce caveat ne peut laisser aucun doute sur la parfaite identité des deux systèmes. Il est, toutefois, résulté de l'enquête, qu'à la date des deux brevets, aucun des deux systèmes n'avait été exécuté, et que les premières expériences de Bell, seules, avaient pu démontrer la possibilité de la transmission de la parole. Mais M. Bell fit construire, en mars 1876, son appareil à liquide, et au 10 mai de cette même année, cet appareil fut l'objet d'une communication de l'auteur à l'Académie américaine de Boston. Il figura ensuite avec ses autres

appareils à l'Exposition de Philadelphie, au mois de juin 1876.

En résumé, il a été démontré, dans les deux procès aujourd'hui terminés, que c'est bien M. Bell qui, le premier, a pu faire parler le téléphone, en lui appliquant des courants continus et ondulatoires, fonction des vibrations de la voix, et qu'il a résolu le problème, soit avec des courants induits résultant des vibrations mêmes de l'appareil transmetteur, soit par des variations de résistance d'un conducteur imparfait mis en rapport avec un circuit voltaïque et résultant elle-mêmes des effets vibratoires.

Un fait assez curieux à rappeler ici, c'est que, dès 1865, M. Yeates, de Dublin, en essayant de perfectionner le téléphone de Reiss, avait réalisé en quelque sorte le transmetteur à liquide de MM. Bell et Gray, car il avait introduit entre les contacts de platine de l'appareil de Reiss une goutte d'eau, ce qui le rendait propre à la reproduction des sons articulés. Toutefois, ce résultat ne fut pas alors observé.

(*Bulletin de la Société d'encouragement.*)

ÉTAT

DU

SERVICE TÉLÉGRAPHIQUE EN COCHINCHINE.

Extrait du Rapport adressé au Conseil colonial, le 26 juillet 1881, par M. Demars, Inspecteur-ingénieur, chef du service télégraphique.

Considérations générales. — Le fonctionnement régulier de la télégraphie présente incontestablement des difficultés beaucoup plus grandes en Cochinchine qu'en France, en raison du peu de similitude des conditions dans lesquelles se trouvent les lignes télégraphiques de la colonie et celles de la métropole.

Les chemins de fer n'existent malheureusement pas encore; la plupart des routes sont de simples sentiers envahis par une végétation puissante; le sol est généralement peu consistant, surtout pendant l'hivernage; de grands fleuves et une multitude d'arroyos navigables coupent le territoire en tous sens.

Achats difficiles, transports coûteux, consolidation problématique des poteaux, que la pourriture et les termites attaquent rapidement et sur lesquels la foudre s'abat fréquemment; pose et entretien de câbles sous-fluviaux, coûteux, que les eaux du Cambodge entraînent avec des arbres entiers qui les draguent; atmosphère chaude et humide qui facilite les pertes électriques dans des proportions inconnues en Europe, chutes d'arbres, parfois même actes de malveillance; telle est, en peu de mots, la nomenclature des obstacles à surmonter.

Le transport de nos lignes sur les voies ferrées et les routes, au fur et à mesure de leur construction; l'emploi judicieux du fer, au moins partiellement, pour les appuis, si l'expérience démontre, comme paraît le craindre l'Administration métropolitaine, des inconvénients à une substitution générale du fer au bois pour nos poteaux; l'utilisation d'isolateurs nouveau modèle plus sérieux; la réduction des câbles à leur minimum, amélioreront notablement les conditions d'exploitation et d'entretien du réseau important de la colonie et permettront par suite d'atteindre un plus grand rendement, sans recourir à la pose de nouveaux conducteurs ou à l'emploi d'appareils plus rapides que le Morse, mais plus difficiles à entretenir dans ce pays et, par suite, moins pratiques.

Nous nous rapprocherons ainsi chaque jour de la métropole et nous pourrons faire face à l'augmentation croissante du trafic télégraphique, conséquence inévitable de la voie dans laquelle est résolûment entré le gouvernement civil (télégraphie à prix réduit et à la portée de tous).

La fusion des postes et des télégraphes, qui s'impose chaque jour davantage, nous assimilera de plus en plus à la Mère-Patrie, et le public en retirera des avantages incontestables et réels.

La coïncidence de cette mesure avec la réorganisation des services fluviaux entraînera une réforme complète de la marche des courriers et de la partie des trains actuels qui sera conservée. Cette réforme dotera la colonie d'un véritable service postal.

. . . .

L'introduction de l'élément indigène dans le personnel manipulant est un fait accompli; les résultats semblent devoir être satisfaisants : plusieurs de ces télégraphistes

sont arrivés à faire un bon service; malheureusement, des démissions se sont produites, nous faisant perdre le bénéfice d'un apprentissage de 6 ou 8 mois; et il ne faut pas oublier qu'un employé ne peut être utilisé sérieusement avant un stage de cette durée et exige un an au moins pour arriver à faire le travail sûrement.

Un second concours nous a donné 11 nouveaux élèves, qui sont en ce moment dans nos bureaux et continuent à se perfectionner. Il est à craindre que, dans ce groupe, il ne se produise des démissions qui nuiront à l'institution même. Il est de toute nécessité de relever le traitement des Annamites et de modifier dans ce sens l'arrêté du 13 janvier. Le travail télégraphique est plus pénible et plus assujettissant que les autres travaux de plume; les heures de bureau ne sont pas toujours respectées à cause de la nature même de notre service et par suite des grandes facilités données au public dans l'expédition et la réception des dépêches commerciales; il y a donc forcément des services supplémentaires; les congés des dimanches et fêtes n'existent qu'en partie; aussi les indigènes font-ils la comparaison entre leurs obligations et celles de leurs camarades des autres services, et le résultat n'est pas en leur faveur. Il faut nécessairement une compensation pécuniaire, c'est le seul moyen de donner de la vitalité à une institution économique due à l'initiative de M. le Gouverneur, mais qui irait s'affaiblissant si l'état actuel des choses était maintenu.

Le rapport du chef du service, en 1880, soulevait la question des lignes souterraines dans Saïgon; cette modification dans notre réseau urbain devient de plus en plus nécessaire par suite des plantations de la municipalité; les arbres, en grandissant, ont atteint les fils. Il ne faut pas songer à faire des élagages qui dégrade-

raient ces utiles et si agréables plantations; en outre, certains propriétaires limitrophes de nos lignes nous créent des difficultés en ne nous permettant pas d'élaguer. D'autre part, le développement pris en France par les lignes téléphoniques, leur inauguration à Saïgon font supposer qu'avant peu de nouvelles concessions seront demandées; ne serait-il pas préférable de comprendre dans un travail d'ensemble, comme lignes souterraines, les fils ordinaires et les fils téléphoniques? On constituerait de la sorte un réseau dont le bureau central du télégraphe serait le bureau de raccord et donnerait instantanément toutes les communications demandées par le public abonné ou les divers chefs d'administration, avantage très appréciable dans un pays intertropical.

Le travail fait d'un seul coup serait plus économique, et notre jeune capitale se trouverait immédiatement au niveau des plus grandes villes d'Europe. J'aborderai plus loin la question des devis de dépenses des lignes souterraines et du réseau téléphonique.

Depuis la dernière session du Conseil colonial, le réseau a été amélioré partout où l'absence de poteaux de rechange n'a pas rendu impossibles des travaux définitifs.

La construction de la ligne de Travinh à Vinhlong, qui supprime celle de Travinh à Bentré, et les 4,000 mètres de câble dans le Cokien et le Ham-luong, est un fait accompli : ainsi se trouve consacré le vote de l'Assemblée coloniale.

Les dépêches intérieures ont augmenté d'une manière considérable, ainsi que les mandats télégraphiques :

Les six premiers mois de 1879, avec les anciens tarifs, avaient donné 6,731 dépêches, produisant 15,497 fr. 30 cent.

Les six mois correspondants de 1880, avec les nouvelles taxes, avaient donné 11,656 dépêches, rapportant 12,509 fr. 63 cent.

Enfin, le premier semestre de 1881 nous donne 15,597 dépêches et en taxes 16,140 fr. 85 cent.

La situation des mandats s'établit ainsi pour le premier semestre des années 1880 et 1881 :

1880. — Mandats : 769. — Montant.	176,458f.35
1881. — Mandats : 1,149. — Montant.	350,805 .01

Le bureau du cap pourrait également participer à ce service, en donnant une caisse à l'employé du télégraphe. Cette amélioration s'imposera avec la fusion.

. . . .

Lignes aériennes. — Le réseau comprend quatre catégories de fils :

1° Les fils principaux (879 kilomètres) ;

2° Les fils secondaires (818 kilomètres) ;

3° Les fils urbains (8 kilom. 700 mèt.) ;

4° Les fils téléphoniques (14 kilomètres).

Soit un total de 1,719 kilom. 700 mèt. de fils.

Deux concessions de lignes téléphoniques, sur les mêmes poteaux, comprennent 14 kilomètres de fils.

Le réseau urbain est desservi par 10 appareils à cadran.

Sur les lignes ordinaires, notre important fil 9 a été continué en fil de 4 millimètres de Sadec à Longxuyen, et devra prochainement subir la même modification entre Longxuyen et Chaudoc d'une part, et de l'autre entre Tanan et Saïgon.

Même observation pour le fil du cap qui nous relie au réseau sous-marin, et où la substitution est opérée du cap à Longthanh et se continuera au fur et à mesure des réparations sur Bienhoa et Saïgon.

Nous avons actuellement sur nos lignes 241 kilomètres de fil de 4 millimètres. Tout le reste du réseau, soit 1,478 kilom. 700 mèt. est en fil de 3 millimètres.

Câbles. — Sur certaines lignes, des câbles sont intercalés pour la traversée des grands fleuves. Nous nous appliquons chaque jour à diminuer le nombre de ces conducteurs d'un prix élevé.

. . . .

En ce moment, nous n'avons plus que 13 câbles au lieu de 19, et leur longueur totale descendra de 21,350 mètres à 14,500 mètres.

Poteaux surélevés. — Deux poteaux en fer de 30 mètres de hauteur, construits dans les ateliers du service, à Saïgon, ont permis de franchir aériennement le Donchai, sans entraver la navigation (267 mètres de portée), et de supprimer ainsi deux câbles (600 mètres).

Deux autres poteaux vont être faits dans les mêmes conditions pour la traversée du Donnai, un peu en aval de Bienhoa à Cholon, ce qui supprimera trois câbles d'une longueur totale de 1,950 mètres.

Les 11 poteaux mâtés du Gua-lap ont été supprimés.

Bureaux ouverts au public. — Au 1er juillet 1881, le réseau de la colonie dessert 26 bureaux ouverts au public, au moyen de 1,727 kilomètres de conducteurs de toute nature.

Ces bureaux sont :

Saïgon central; Saïgon, rue de Canton; Baria, Benluc, Bentré, Bienhoa, Cantho, cap Saint-Jacques, Chaudoc, Cholon, Gocong, Hatien, Kampot, Long-thanh, Longxuyen, Mytho, Phnum-penh, Rachgia, Sadec, Soctrang, Tanan, Tayninh, Thudau-mot, Travinh, Vinhlong, phare Saint-Jacques (pour la télégraphie sémaphorique).

Les bureaux sont ouverts au public tous les jours ordinaires : de 7 heures à 10 heures du matin et de 2 h. 30 m. à 5 h. 30 m. du soir.

Les dimanches et jours fériés : de 7 heures à 9 heures du matin.

A Saïgon, en dehors des heures ordinaires de bureau, c'est-à-dire de 7 heures à 10 heures du matin, de 2 h. 30 m. à 5 h. 30 m. du soir les jours ordinaires, et de 7 heures du matin les jours fériés, les télégrammes internationaux sont, à la suite de vœux exprimés par la Chambre de commerce, reçus et transmis aux heures suivantes :

1° Les jours ordinaires, de midi à 2 h. 30 m. ;

2° Les jours fériés, de 3 heures à 5 heures du soir (depuis le 22 avril 1880).

De plus, dans le cas où des télégrammes parviennent au cap Saint-Jacques après 5 h. 30 m., ils sont reçus par le bureau de Saïgon de 8 heures à 9 heures du soir, et, autant que possible, remis le soir même à destination.

Il résulte de ce qui précède que, pour la correspondance internationale, le service est presque permanent de 7 heures du matin à 9 heures du soir.

Le service de la télégraphie officielle est en réalité permanent.

Certains bureaux ont une réelle importance au point de vue des recettes. D'autres se recommandent surtout comme centres de dépôt pour des bureaux moins importants.

Le nombre des dépêches n'est pas exactement en rapport avec l'importance des taxes.

En 1880, le mois de mars a été le plus chargé comme transmissions et comme taxes.

En 1879, c'était également ce même mois.

En 1880, janvier a été le moins élevé comme transmissions et novembre comme taxes.

En 1879, le mois d'août a été le moins chargé à tous les points de vue.

Piles et appareils. — La modification dans les lignes et les communications à établir a entraîné une légère diminution dans la quantité des éléments employés : ils sont aujourd'hui au nombre de 1,435, coûtant 1,793 fr. 75 cent.

Deux nouveaux relais ont été construits dans nos ateliers et installés, l'un à Phnum-penh, l'autre à Kampot; ils sont destinés à éviter des retransmissions dans le cas d'interruption des communications normales.

Le nombre des appareils Morse n'est pas changé.

Entretien. — Les dépenses d'entretien des lignes pour 1880 se sont élevées à 39,978 francs (42,287 francs en 1879). soit 23 fr. 43 cent. par kilomètre (25 fr. 12 cent. en 1879).

Pendant la même période, on a posé 9 câbles d'une longueur totale de 8,400 mètres, valant 13,440 francs, et on en a réparé 3.

Les frais de pose et de réparation, ajoutés au prix d'achat, forment un total de 17, 966 fr. 67 cent. qui, pour les 21,350 mètres en service en 1880, constituent une dépense kilométrique d'entretien de 841 fr. 53 cent. (1,142 fr. 85 cent. en 1879).

Les achats de matériel se sont élevés à 2,222 fr. 05 cent.

Personnel. — (Janvier 1881.) — 1 Inspecteur-ingénieur, chef du service; 1 sous-inspecteur adjoint; 1 receveur, chef du bureau de Saïgon (central).

Aux appareils : 1 commis de 1re classe, faisant fonc-

tions de commis principal; 32 employés métropolitains; 7 télégraphistes indigènes.

Magasins, ateliers et surveillance des lignes : 1 agent spécial mécanicien; 1 magasinier; 2 surveillants métropolitains faisant fonctions de chefs-surveillants; 6 surveillants (cadre local); 5 chefs de chantiers (indigènes); 38 aides surveillants indigènes.

Port des dépêches : 1 brigadier-facteur; 30 facteurs indigènes; 1 garçon de bureau.

Au phare Saint-Jacques : 1 gardien chef.

Observations générales. — Les dépêches officielles ont été au nombre de 15,579, contre 13,904 en 1879.

Cette augmentation tient à plusieurs causes :

1° Quelques nouvelles franchises ont été accordées;

2° Une circulaire prescrit d'annoncer les envois faits par les bateaux des messageries de Cochinchine. Les divers fonctionnaires attendent souvent le dernier moment et usent du télégraphe ;

3° Certains services usent du télégraphe parfois sans beaucoup de ménagements;

4° Des actes, soit de malveillance, soit de piraterie, entraînent l'envoi de circulaires fréquentes à tous les administrateurs.

Les taxes des dépêches officielles, comptées pour mémoire, s'élèvent à 26,962 fr. 65 cent. en 1880, contre 48,439 fr. 50 cent. en 1879 (taxes anciennes).

Les dépêches privées intérieures suivent le mouvement ascensionnel signalé l'année dernière : en 1880, leur nombre s'est élevé à 24,869, et leurs taxes à 26,350 fr. 48 cent., contre 12,482 ayant produit 29,522 fr. 45 cent. (ancienne taxation).

Nous avons effectué un travail sensiblement double, tout en n'ayant qu'un déficit de 3,000 francs environ.

En 1881, l'accroissement continue rapidement; les six premiers mois l'emportent, sur les mois correspondants de l'année dernière, de 3,931 dépêches et de 3,631 fr. 22 cent. Le premier semestre de 1879 avait produit 15,523 fr. 30 c. avec 6,650 dépêches. Nous avons donc déjà un excédant de recettes. Ainsi se trouve réalisée cette amélioration : diminution des taxes, augmentation des recettes.

Le public et le trésor auront à la fois profité de la mesure libérale de M. le Gouverneur, réduisant la taxe des dépêches.

Les dépêches internationales nous ont donné comme taxe brute 201,428 francs. Le revenu net pour la colonie a été de ce chef de 20,391 fr. 98 cent. produits par 4,872 télégrammes de départ et 4,767 d'arrivée, contre 18,031 fr. 45 cent. rapportés par 5,162 d'arrivée et 5,113 de départ, l'année précédente.

1880 avait eu un 1er semestre très favorable; la situation a été renversée dans le second. Cette année semble devoir se comporter différemment; ces fluctuations sont intimement liées au mouvement commercial d'exportation.

. . . .

LÉGISLATION RELATIVE A LA PROPRIÉTÉ

DES

CABLES TÉLÉGRAPHIQUES SOUS-MARINS.

Depuis quelque temps, les principaux journaux européens s'occupent avec un vif intérêt des câbles sous-marins, et de la législation internationale nécessaire pour les protéger d'une façon efficace.

Outre leur valeur intrinsèque, les câbles actuellement existants possèdent au point de vue commercial, et même politique, une telle importance que toute personne au courant de la question, reconnaîtra la nécessité d'une législation internationale relative à l'établissement et à l'entretien des communications sous-marines et propre à faciliter, en cas d'interruption leur prompte réparation.

Après avoir étudié attentivement les différentes questions qui se présentent d'elles-mêmes à l'esprit sur ce sujet, nous pensons qu'un grand progrès serait déjà réalisé, si des lois fixaient le droit du premier occupant du fond où repose un câble, et en second lieu, si les navires télégraphiques étaient exemptés des formalités de douane, encore si lentes et si onéreuses dans certains pays.

La question de la protection des câbles a une réelle importance ; il s'agit non seulement d'éviter les dommages que peuvent causer les ancres des navires et les opérations de pêche, mais encore les inconvénients qui

peuvent résulter du voisinage trop immédiat de plusieurs câbles.

S'il existait une législation comme celle que nous proposons, en cas de dommages causés par les ancres des navires, la question litigieuse se résoudrait en posant simplement la question suivante :

Le câble se trouvait-il dans un endroit notoirement affecté au mouillage, ou le navire a-t-il laissé traîner ses ancres dans un lieu légalement connu comme étant le lit du câble?

Dans le cas où les accidents seraient produits par les opérations de pêche, la question à trancher serait celle-ci :

Le câble a-t-il été posé dans un endroit reconnu comme lieu de pêche, ou au contraire, est-ce la pêche qui a été pratiquée dans une zone réservée au câble ?

Admettons, pour notre argumentation, cette façon d'envisager les différends, et supposons qu'il soit nécessaire d'immerger un câble dans un lieu de pêche, il est évident que sa présence dépréciera la pêcherie. Il serait donc juste d'indemniser l'association des pêcheurs, qui, dans ce cas, doivent être considérés comme les premiers occupants.

Par le paiement de cette indemnité, le droit de poser des câbles dans la pêcherie, se trouverait acquis et si ces câbles venaient à être endommagés par les pêcheurs, la réparation du préjudice serait à la charge de l'association; bien entendu dans le cas contraire on pourrait établir une convention analogue, et dont l'application serait tout aussi équitable, par exemple : si les pêcheurs venaient à empiéter sur la partie qu'en vertu du droit d'occupation on pourrait dénommer le lit du câble, il devrait être légalement possible d'obtenir de leur asso-

ciation le remboursement de toutes les pertes causées par leur contravention.

Une disposition presque analogue pourrait permettre à une Compagnie de défendre l'emplacement de ses câbles déjà posés, contre les Compagnies qui voudraient installer d'autres lignes sur le même parcours.

On pourrait peut-être délimiter le lit du câble à un mille anglais de chaque côté de la ligne, depuis la côte jusqu'à une distance de 10 milles au large, et, au delà de cette distance, à 2 ou 3 milles de chaque côté.

Il serait à désirer qu'on prohibât les opérations de pêche, en dedans de ces limites, à moins d'une autorisation spéciale de la Compagnie propriétaire des câbles, qu'il ne fût permis à aucun navire d'y jeter l'ancre sans une permission semblable, et enfin, qu'il fût interdit de poser aucune ligne nouvelle en dedans de la ligne de démarcation.

Dans le cas où il serait indispensable de poser de nouveaux câbles dans cette zône, ou même de croiser des lignes déjà existantes, nous pensons qu'il y aurait lieu d'indemniser le premier occupant comme conséquence du préjudice causé à sa propriété.

En ce qui concerne le travail des navires télégraphiques, il sera peut-être bon de donner quelques exemples des difficultés actuelles, et de montrer quels efforts sont nécessaires pour les surmonter; nous indiquerons ensuite d'une façon aussi brève que possible quels remèdes peuvent être apportés à la situation.

Un des navires de l'*India Rubber Company*, occupé à réparer un des câbles de la *Direct Spanish Telegraph Company*, s'étant trouvé forcé de relâcher à Santander, fût contraint, avant d'obtenir pratique et permission de procéder à ses affaires dans le port, d'établir, pour les

autorités de la douane espagnole, un relevé de tout l'équipage et de tout le matériel à bord. On déclara que la cargaison se composait d'une petite quantité de câble sous-marin et de lest ; mais comme le bâtiment mouillait tantôt en rade de Santander, tantôt dans la baie de Bilbao et quelquefois, pour plus de sécurité, à l'abri du cap Machichaco, on ne se trouvait pas strictement en accord avec le règlement de la douane espagnole; aussi, lorsque le navire fut sur le point de rentrer à Londres, les autorités, avant d'autoriser la sortie, exigèrent que M. Saint-Martin, l'agent local de l'*India Rubber Company*, leur versât un nantissement en garantie de l'exactitude de la déclaration. M. Saint-Martin dût écrire à la compagnie pour faire certifier que le câble et le lest qui se trouvaient à bord du navire à Santander, étaient effectivement arrivés à Londres, ce certificat étant nécessaire pour recouvrer son nantissement. Enfin, pour régler complètement cette affaire, la compagnie fut obligée de solliciter un ordre ministériel de Madrid. Tout commentaire serait superflu pour démontrer les embarras créés par des entraves de cette nature.

L'année suivante, l'*India Rubber Company* eut à envoyer un navire dans les mêmes parages; mais avant l'arrivée du bâtiment sur les lieux, on eut cette fois le temps nécessaire pour obtenir de Madrid une dispense ministérielle et éviter ainsi les retards inhérents aux formalités réglementaires. En France même, lors de la pose de l'un des câbles de Marseille à Alger, les opérations furent gênées et considérablement retardées, parce que les autorités douanières de Marseille ne se contentèrent pas des instructions générales que le ministère leur avait envoyées de Paris.

Mais un des cas les plus regrettables s'est présenté

pendant la pose du dernier câble dans le golfe du Mexique :

Brazos Santiago est une rade ouverte près du Rio Grande dans le Texas, par conséquent, sous la juridiction des États-Unis. Lorsque le vapeur *Dacia* arriva à Brazos, et qu'on voulut débarquer les instruments nécessaires pour l'essai du câble et le matériel destiné à la construction de la guérite où aboutit ce câble, il fallut payer un droit de 118 livres, bien que la valeur des objets ne fût que de 120 livres. La somme à verser fut fixée sans avoir égard à la valeur du matériel débarqué et déterminée seulement d'après le tonnage du navire. Pendant les démarches qui eurent lieu à ce sujet, le mauvais temps survint et le navire, ne pouvant passer la barre, quelquefois infranchissable, qui sépare la rade du port, fut obligé pendant plusieurs jours de tenir la mer, en attendant qu'il redevint possible d'atterrir.

On pourrait citer de nombreux faits de cette nature, mais ceux qui précèdent nous paraissent suffisants pour justifier nos considérations.

Le remède à apporter à cet état de choses, qui entraîne une perte de temps considérable et de grandes difficultés, est très simple : *Tous les navires télégraphiques devraient être, en ce qui concerne les formalités de douane, traités sur le même pied que les vaisseaux appartenant aux marines d'État.*

Nous croyons que le gouvernement brésilien est, jusqu'ici, le seul qui ait reconnu les difficultés qui résultent de l'assimilation des navires télégraphiques aux navires marchands ordinaires.

Le *Norseman*, vapeur employé aux réparations par la *Western Brazilian Telegraph Company* possède le droit d'accès et de sortie dans tous les ports du Brésil, sans

avoir à s'adresser à la direction des douanes qui semble presque ignorer ses allées et venues. La seule formalité à laquelle il soit soumis consiste en une simple déclaration de forme faite au commandant du port, et cette formalité peut aisément s'accomplir pendant la montée en pression.

Le steamer *Retriever* de la *West Coast of America Telegraph Company* se trouve dans les mêmes conditions vis-à-vis des gouvernements du Chili et du Pérou qui ont donné des ordres pour lui assurer dans tous leurs ports liberté entière à l'entrée et à la sortie.

Aux Antilles, les navires télégraphiques de la *West India et Panama Telegraph Company* sont aussi traités avec beaucoup d'égards.

Il est à désirer qu'un accord international se produise relativement aux immunités à accorder aux navires télégraphiques, et cela aussi bien dans l'intérêt du public que dans celui des compagnies qui ont des câbles à réparer; car chaque jour de retard est au détriment du prompt rétablissement de la communication télégraphique.

La nécessité d'une législation doit forcément s'imposer tôt ou tard à l'attention des États; il convient donc de préparer dès aujourd'hui l'étude de la question.

Chaque nation est intéressée au développement de ses communications sous-marines, et cela en raison directe de l'extension de ses colonies, de son rang maritime, et de l'importance de ses relations commerciales.

L'Angleterre est évidemment la nation la plus intéressée à la solution du problème, non seulement à cause de ses nombreuses colonies, de ses stations navales, et de son immense négoce, mais aussi parce que ses côtes sont comme un centre où convergent les communications télégraphiques du monde entier.

Nous espérons donc que le gouvernement britannique prendra promptement l'initiative de l'étude d'une législation internationale relative à la propriété des câbles sous-marins, qui sera accueillie avec un très grand intérêt par toutes les nations sans exception.

En agissant ainsi il sera le promoteur d'une idée de progrès qui se recommande d'elle-même à tout esprit éclairé.

Pour juger l'importance des considérations qui précèdent, nous donnons ci-dessous le nombre et le tonnage des navires actuellement affectés à la pose ou à la réparation des câbles sous-marins.

NOMS DES VAPEURS.	TONNAGE	NOMS DES VAPEURS.	TONNAGE.
		Report. . .	23.403
Agnès.	781	Minia.	1.986
Ampère.	500	Norseman.	1.372
Calabria.	3.325	H. C. Œrstedt.	570
Caroline.	526	Pouyer-Quertier.	1.385
Charente.	900	Professor Morse.	1.023
Chiltern.	1.304	Retriever.	459
Dacia.	1.856	Retrievier.	624
Duchess of Marlborough.	402	Scotia.	4.667
Edinburgh.	2.315	Seine.	3.579
Faraday.	4.908	Sherard Osborn.	1.429
Grappler.	868	Silvertown.	4.935
Great Northern.	1.352	Lady Carmichael. . . .	369
International.	1.380	Patrick Stewart.	1.130
John Pender.	1.213	Newfield.	785
Kangaroo.	1.773	Store Nordiske.	832
A reporter. .	23.403	Total. . . .	48.548

(Extrait du *Telegraphic Journal* du 15 décembre 1881).

NOTE

SUR LA VIE ET LES TRAVAUX

DE MICHEL GLOESENER.

Le jury de l'Exposition internationale d'électricité a décerné à mademoiselle Antonin Gloesener une médaille d'or en souvenir des travaux importants de son père, qui a consacré toute sa vie à l'étude de l'électricité, et dont elle avait exposé les principaux appareils; nous profiterons de cette occasion pour rappeler brièvement la vie du savant professeur belge et ses titres à la reconnaissance de tous ceux qui s'intéressent à l'avenir de la science électrique.

Gloesener (Michel) est né à Haut-Charage (grand-duché de Luxembourg) le 4 mars 1794. Il fit ses études au collège impérial de Luxembourg; puis, au commencement de l'occupation de la ville et du grand-duché par les alliés, en 1815, il partit pour Metz et s'appliqua spécialement à l'étude de la physique et des mathématiques. En 1818, il se rendit à Liège, où il prit part pendant plusieurs années aux concours universitaires et remporta coup sur coup trois médailles d'or sur des questions d'algèbre, de botanique et de chimie. Il se voua dès lors à l'enseignement et, en 1824, fut nommé professeur d'astronomie et de mécanique analytique à l'Université de Louvain, puis un an plus tard, professeur de physique mathématique et de physique expérimentale. Le 16 décembre 1830, il fut chargé des mêmes cours à l'Université de Liège et contribua à la fondation de la

Société royale des sciences de Liège, dont il fut le premier président.

En 1837, il abandonna le cours de physique industrielle et ne conserva que le cours de physique mathématique, mais il ne songeait pas à prendre du repos et continua ses travaux qui lui valurent, en 1855, une médaille d'or décernée par la Société industrielle de Paris et des distinctions honorifiques du gouvernement belge et de plusieurs autres gouvernements, et son admission comme membre correspondant de nombreuses sociétés savantes.

Élu membre correspondant de l'Académie des sciences de Bruxelles en 1856, il en devint membre titulaire en 1864 et, en 1875, en fut nommé vice-recteur; il avait obtenu l'année précédente le prix quinquennal pour les sciences physiques et mathématiques.

Pendant l'année 1876, il occupait les fonctions de directeur de l'Académie, mais il ne devait pas jouir longtemps de cette juste récompense de ses travaux: il s'éteignit subitement le 10 juillet 1876.

Parmi les nombreux mémoires de M. Gloesener, se rapportant à l'électricité et au magnétisme, nous citerons:

Un Exposé de la théorie de l'électro-magnétisme (1822);

Explications d'expériences électro-dynamiques (1823);

Influence du Magnétisme sur le corps humain (1823);

Sur le Magnétisme terrestre (1825);

Sur l'action réciproque des courants et des aiguilles d'acier et de fer non aimantées (1828);

Sur la théorie des aimants relativement à l'influence qu'exercent sur eux les courants électro-magnétiques;

Sur l'origine des attractions et répulsions électro-dynamiques (1836);

Sur les paratonnerres (1842);

Divers mémoires sur la télégraphie électrique, sur les moyens d'augmenter la sensibilité des galvanomètres, sur des appareils propres à changer la direction des courants électriques, etc., etc., et de nombreux rapports sur des appareils de toute nature.

M. Gloesener a le premier appliqué, en télégraphie, en 1847, le principe du renversement de sens des courants après chaque émission, ce qui lui a permis de supprimer le ressort antagoniste dans les appareils et, par suite, d'éviter leur réglage. Ce système a été adopté par M. Lippens dans la construction des appareils de l'administration belge.

Il a, un des premiers, construit des horloges électriques, en leur appliquant son système de renversement de sens du courant, et a doté la ville de Liège d'une soixantaine d'horloges fonctionnant avec une régularité parfaite.

Enfin, on lui doit encore un des chronographes électriques les plus simples, permettant de mesurer avec une grande précision des intervalles de temps, tels que celui qu'emploie un boulet de canon à passer d'une cible formée de fils conducteurs qu'il rompt en les traversant à une autre cible pareille située à une distance de quelques mètres.

Sans doute la science de l'électricité a fait d'immenses progrès depuis les travaux de Gloesener, mais son nom ne doit pas être oublié, et c'est pourquoi nous avons cru devoir consacrer un souvenir à sa mémoire.

CHRONIQUE.

Note sur les courants électriques produits par des éclairs éloignés et sur une observation de M. René Thury relative aux bruits des téléphones pendant les orages.

Par M. D. Colladon (*)

M. le professeur Marc Thury m'a communiqué une observation récente faite par son fils M. René Thury; elle a un grand intérêt pour la météorologie parce qu'elle servira à apprécier à la distance de plusieurs kilomètres l'intensité des éclairs et la conductibilité pour l'induction électrique de l'air surchargé d'humidité.

Cette observation vient d'ailleurs confirmer un fait que j'avais observé et publié à Paris, en 1826, à l'occasion de recherches sur l'électricité atmosphérique au moyen de mon galvanomètre construit pour la mesure des courants électriques que peuvent produire les machines à frottement, la décharge des bouteilles de Leyde, celle des torpilles, ou des gymnotes, l'électricité soutirée des nuages par des branches d'arbres, ou des pointes métalliques, etc.

Suivant la communication de M. Thury, le jeune observateur disposait d'un fil de cuivre tendu horizontalement entre deux maisons à la hauteur des toitures, et communiquant avec la terre au moyen de tuyaux métalliques servant à conduire l'eau potable. Au fil aérien, ayant environ 2 millimètres de diamètre et 50 à 60 mètres de longueur, était joint un téléphone dont la résistance mesurait 4,5 ohms, et un autre appareil semblable de 25 ohms.

Depuis le printemps de 1879, époque de l'établissement du

(*) Communiqué à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève dans sa séance du 1er septembre 1881.

téléphone, à chaque orage, rapproché ou lointain, le jaillissement des éclairs a toujours été accompagné d'un bruit très caractéristique, perceptible dans les téléphones. Ce bruit se faisait entendre à l'instant même où l'on voyait l'éclair, quelle que fût sa distance, et résultait, par conséquent, d'un effet d'induction de la décharge lointaine sur le fil. Tous les éclairs visibles à l'œil se faisaient entendre dans le téléphone, alors même que l'on ne pouvait entendre le bruit du tonnerre; la distance de l'éclair devait être alors d'au moins 35 kilomètres.

Le bruit de l'éclair consistait ordinairement en une sorte de crépitation composée d'une succession très rapide de coups secs d'intensité très variable. La durée totale de la crépitation ne dépassait pas une demi-seconde, comprenant en moyenne 6 à 8 coups successifs ; le bruit était comparable à celui d'une allumette suédoise frottée sur la boîte. Quelquefois, mais très rarement, on n'entendait qu'un seul coup sec ; une ou deux fois, des coups très intenses, comparables aux décharges d'une forte bouteille de Leyde.

Dans un Mémoire lu à l'Académie des sciences de Paris, dans la séance du 21 août 1826, je disais : « Pendant un orage qui eut « lieu à quelque distance de Paris, mon galvanomètre eut des « déviations qui atteignirent jusqu'à 18°, *quoique l'on n'aper-« çût aucun nuage* au-dessus de l'Observatoire jusqu'à 30° du « zénith ; » et dans le *Traité de Physique* de M. Péclet, 2me édit. 1832, on trouve une note sur mes expériences où il est dit : « Dans les moments d'orage, l'aiguille du galvanomètre de M. Colladon est dans un mouvement continuel; chaque éclair est immédiatement suivi, *parfois même précédé*, d'un changement subit dans le sens de la déviation, ou d'un accroissement brusque. Dans quelques cas la déviation passe instantanément du maximum positif au maximum négatif ou inversement; ces effets se continuent encore quand les éclairs sont éloignés de deux ou trois lieues, pourvu que l'air soit très humide et le ciel couvert de nuages. »

Je suis heureux de voir que M. R. Thury a confirmé en quelque sorte ces anciennes observations et en a peut-être beaucoup étendu la portée par son intéressante étude sur les sons que le téléphone fait entendre sous l'action d'éclairs

éloignés, action due à un courant électrique produit sous l'influence de la décharge. Il me semble probable que ces bruits téléphoniques doivent surtout se faire entendre lorsque l'atmosphère est surchargée d'humidité; dans ce cas, sa conductibilité électrique devient si grande pour les hautes tensions, que les grandes variations transmettent leur influence, d'une manière invisible et presque instantanée à quelques lieues de distance.

Les électriciens qui ont étudié les phénomènes atmosphériques savent quelle remarquable variété d'éclairs on peut observer en temps d'orage; j'en ai cité plusieurs exemples dans un mémoire publié en 1879. Les expériences au moyen du téléphone offrent une méthode très facile pour étudier les effets d'induction produits par ces éclairs et mesurer la vitesse de transmission de ces influences jusqu'à de grandes distances.

M. le professeur Thury m'écrit le 22 septembre « qu'il a pu, pendant que le violent orage électrique de la veille sévissait sur le canton de Vaud, étudier les bruits du téléphone et leur correspondance en temps avec l'apparition des éclairs.

« Il n'a pu reconnaître aucun intervalle entre la vue de l'éclair et le bruit du téléphone.

« Ce bruit est une crépitation composée depuis trois jusqu'à dix ou douze coups dont la durée totale n'excède pas une demi-seconde. En observant simultanément les bruits du téléphone et le reflet des éclairs sur une maison, il a reconnu que chacun de ces éclairs se composait d'une succession très rapide de jets de lumière qui répondent bien exactement aux crépitations élémentaires entendues dans le téléphone. »

Il serait intéressant de comparer les effets produits sur deux téléphones dont les fils seraient isolés du sol pour l'un, et en bonne communication métallique avec la terre humide pour l'autre.

On peut aussi se demander si la direction de ces fils a de l'influence et ce que deviennent les bruits du téléphone pour certains éclairs exceptionnels, par exemple, ceux en boule, ceux qui foudroient le sol, etc.

A l'occasion de cette note, M. G. de Lalagade a rappelé les

études qu'il a faites sur le même sujet (*Bulletin de l'Association scientifique*).

Dès le mois de juin 1878, époque à laquelle j'avais installé en pleine campagne une ligne téléphonique d'environ 800 mètres de longueur, bien éloignée de tout fil télégraphique, je pus constater que le téléphone faisait entendre des crépitations rapides, revenant par intervalles plus ou moins éloignés. Voici, du reste, ce que je disais dans ma note du 5 août 1878, note que j'ai adressée à l'Académie des sciences :

« .... Si pendant un moment on écoute dans les téléphones, le silence est parfait, seulement de temps en temps on entend une foule de pétillements précipités, qui cessent brusquement après un claquement plus ou moins sec.... Le phénomène varie selon les heures de la journée, l'état du ciel, l'état hygrométrique de l'air, etc. Dès que le baromètre baisse, que l'atmosphère, quoique sans nuages, est orageuse durant tout le jour, alors l'intensité et la fréquence des bruits sont presque uniformes.... Durant un orage, ces bruits sont précipités, intenses surtout avant qu'un éclair jaillisse.... J'attache une importance au phénomène que j'indique, car il donne une autre preuve de l'exquise sensibilité du téléphone, tout en lui assignant une nouvelle utilité. »

Je pensai d'abord que ces bruits étaient dus seulement aux décharges successives du conducteur, après un certain degré de saturation électrique que l'atmosphère lui communiquait. J'éloignai, comme cause, les courants telluriques qui sont presque continus, leurs variations n'étant pas assez rapides pour produire ces bruits secs ou pétillements perçus dans le téléphone.

Ces courants étaient réellement des courants induits, et voici comment je m'en assurai. Du sommet d'une terrasse, située sur les combles de mon habitation, je tendis un fil galvanisé de 2 millimètres de diamètre et de 130 mètres de longueur environ ; chaque extrémité de ce fil communiquait aux tuyaux du gaz. Je plaçai dans le circuit, sur la terrasse même, une paire de téléphones, et là, lorsqu'un orage approchait ou passait à l'horizon, je pus constater qu'à chaque éclair, même des plus éloignés, correspondaient des crépitations suivies aussitôt d'un bruit sec caractéristique. J'observai aussi

de pareils bruits par les éclairs dits de chaleur, et même à toutes les heures de la journée, surtout à celles qui précédaient un orage.

C'est dès ce moment que je cherchai à amplifier ces bruits ou craquements, à l'aide du microphone, afin de n'être plus obligé d'écouter directement l'oreille placée sur le pavillon du téléphone. J'ai obtenu ce résultat en disposant, sur la plaque du téléphone récepteur des bruits, deux petits microphones, ou des fragments de charbon entassés; en augmentant graduellement les éléments de la pile de ces microphones, on entendait le moindre bruit ou pétillement à la distance de 1 mètre et plus du second téléphone intercalé dans le circuit.

Cette disposition me sert encore aujourd'hui et est installée dans une chambre très silencieuse, sur une table dont les pieds sont posés sur des disques de plomb et de caoutchouc, pour éviter les vibrations étrangères.

Je le répète, en insistant, j'ai toujours entendu sortir du téléphone ces sortes de pétillements, non seulement pendant les orages proches ou très éloignés, mais encore, quoique plus rarement et avec beaucoup moins d'intensité, pendant les temps couverts de l'hiver, et quelquefois même par de belles journées presque sans nuages.

Sur une méthode électrique servant à déterminer, par le moyen d'une aiguille, la position et la profondeur d'un projectile, dans le corps humain.

Note de M. A. Graham Bell.

Le but de la communication que j'ai l'honneur d'adresser à l'Académie est de faire connaître une méthode simple, à l'aide de laquelle la douleur et le danger résultant de l'extraction d'un projectile du corps humain sont réduits à un minimum. Il arrive souvent, dans des opérations de ce genre, que la balle ne se trouve pas à l'endroit où l'incision a été faite. Il faut alors la chercher autre part, et la blessure inutile peut ajouter à la gravité de l'état du malade.

Je propose, comme préliminaires d'une opération, d'en-

foncer une aiguille fine dans la région soupçonnée d'être le siège du projectile. Cette aiguille communique à l'une des bornes d'un téléphone que le chirurgien tient à son oreille. L'autre borne est mise en relation avec la surface de la peau du malade. Lorsque la pointe de l'aiguille rencontre la balle de plomb, une pile se trouve naturellement formée par le plomb et la surface métallique appliquée sur la peau. Il en résulte qu'un courant électrique traverse les bobines du téléphone, et que celui-ci fait entendre un bruit chaque fois que l'aiguille touche le plomb. Le chirurgien peut alors opérer une incision en toute confiance, et même se servir de l'aiguille comme d'un guide pour son couteau.

Si, au contraire, la présence de la balle n'était pas révélée par l'aiguille, aucune blessure nouvelle n'aurait été faite inutilement au patient, car toute le monde sait que la piqûre d'une aiguille est si peu dangereuse, que l'on peut transpercer impunément toute partie du corps. La douleur que l'on ressent d'une piqûre est aussi fort légère, et il est même possible de la supprimer par l'éthérisation de la région soumise à l'expérience. Les meilleurs effets seront obtenus en appliquant sur la peau une plaque métallique formée de la même substance que l'aiguille, de manière à éviter toute action galvanique avant le contact de cette dernière et du projectile.

Cette méthode a été expérimentée dans le laboratoire Volta, à Washington. Une balle de plomb avait été introduite dans un morceau de bœuf, et cherchée de la façon que je viens de dire. Le contact de l'aiguille avec les os ne produisait pas d'effet, tandis qu'un son très net était perçu chaque fois que l'aiguille touchait le plomb. On peut penser que cette méthode d'exploration rendrait de grands services sur un champ de bataille, où l'emploi d'appareils compliqués est impossible.

Les sons ainsi produits, quoique très suffisamment distincts, sont nécessairement faibles, mais une modification de l'appareil permet d'obtenir des effets beaucoup plus marqués. Cette modification consiste à introduire dans le circuit un trembleur qui produit de très nombreuses interruptions, de manière à faire entendre une note musicale dans le téléphone, à chaque contact de la balle et de l'aiguille.

Lorsque le circuit comprend une pile, le téléphone peut se faire entendre à plusieurs personnes à la fois, tant est grand l'accroissement du son. Dans ce dernier cas, le téléphone donne un son à partir du moment où l'aiguille pénètre dans la peau; mais ce son est très faible, en raison de la grande résistance offerte par le corps humain au passage du courant. Aussitôt que l'aiguille vient à toucher le plomb, un accroissement de son se produit, à cause de l'accroissement de surface des électrodes métalliques et de la chair, qui cause une diminution de résistance dans le circuit. Les effets sont encore mieux marqués lorsqu'on se sert d'une aiguille recouverte d'un vernis isolant, excepté à sa pointe. Il est préférable de se servir d'une pile très faible, et d'avoir soin de ne pas opposer sa force électromotrice à celle que développe le plomb lui-même.

Je dois ajouter que ces méthodes d'exploration m'ont été suggérées par les ingénieuses sondes électriques de M. G. Trouvé, dans lesquelles deux conducteurs sont employés, la balle complétant le circuit. J'ai constaté que les effets d'une sonde électrique sont beaucoup améliorés par l'emploi d'un téléphone et d'un rhéotome.

Un galvanomètre peut évidemment servir, dans toutes ces expériences, à la place du téléphone, et alors le rhéotome sera inutile. La présence du projectile sera alors constatée par la déviation de l'aiguille de ce galvanomètre.

Comptes rendus.

Exposition internationale d'électricité. — Matériel exposé par le ministère des travaux publics du Japon.

Isolateurs en porcelaine. — Ces isolateurs sont dus à Fukagawa, fabricant de porcelaine, au village d'Arita, dans la province de Hizen (préfecture de Nagasaki) où, chaque année, la production de porcelaine est très grande. Il n'est peut-être pas sans intérêt de donner une courte histoire de l'origine et des

progrès de la fabrication de cet article indispensable dans la construction des télégraphes.

Lorsqu'en 1869, la première ligne télégraphique fut établie au Japon, l'administration dût naturellement faire venir de l'étranger tout le matériel nécessaire, notamment les isolateurs qui furent importés d'Angleterre.

En 1871, un premier essai de fabrication, fait dans la ville de Kioto, n'eut pas de succès. L'année suivante, un autre essai eut lieu dans le village d'Arita et fut plus heureux.

Encouragé par ce premier succès, le fabricant fit de grands efforts pour perfectionner ses produits, mais ce ne fut qu'en 1873 qu'il réussit à faire les excellents isolateurs dont on se sert aujourd'hui.

La résistance électrique de ces isolateurs est très grande. La résistance de la ligne isolée n'est pas généralement inférieure à 3 megohms par mille anglais, même par un temps humide.

Divers échantillons ont été essayés au moyen d'un galvanomètre très sensible de W. Thomson et d'une très forte pile. La constante du galvanomètre étant 1,582,960 megohms, la pile de 197 éléments Daniell, et l'Echelle divisée à 4 pieds de distance du galvanomètre, on n'observait aucune déviation en dehors de celle qui était due à la *perte de charge* de l'appareil et des conducteurs, soit deux divisious de l'échelle.

Leur prix est de 5f,20 par dizaine d'isolateurs ordinaires, y compris la tige et l'écrou, et de 3f,30 par dizaine d'isolateurs ronds sans les fers.

Vases poreux. — Ces vases sont fabriqués également à Arita par la même personne. Il a été assez difficile de les faire suffisamment poreux, en évitant, d'une part, qu'ils soient trop tendres et se brisent facilement, d'autre part, qu'ils soient trop durs et augmentent considérablement la résistance intérieure de la pile. Après avoir dépensé beaucoup de temps et de travail, le fabricant est parvenu à faire des vases exempts des deux inconvénients que nous venons de signaler et qui jusqu'ici avaient été inséparables de leur fabrication. On s'en sert maintenant exclusivement dans tous nos bureaux télégraphiques. — Prix par dizaine, 2f,25.

Vases en porcelaine. — Ces vases sont fabriqués par un nommé Kano, fabricant de porcelaine, dans le village de Shirakawa, province de Mikawa (préfecture d'Aitchi). On s'en sert dans tous les bureaux télégraphiques de l'Empire. — Prix par dizaine, 4f,05.

Vases en étoffe laquée. — Ces vases ont été imaginés par un mécanicien de l'administration des télégraphes. Le vase circulaire sert pour les piles à sciure de bois; le vase carré pour les piles ordinaires. L'enveloppe des vases se compose de papier, de linge et de laque japonaise. Le procédé de fabrication est très simple et consiste à superposer des feuilles de papier et de linge, enduites de laque, jusqu'à ce que l'épaisseur soit suffisante; puis l'on enduit le tout d'une épaisse couche de laque.

Ces vases sont assez résistants pour supporter un traitement très rude, et cette raison (bien que leur conductibilité soit meilleure que celle des vases en porcelaine), les a fait employer exclusivement dans la télégraphie militaire. — Prix par dizaine, 12f,40.

Sur une modification de la lampe électrique.

Par M. Jamin.

Aussitôt qu'il eut découvert l'arc électrique, Davy le plaça dans le vide et reconnut : 1° que sa longueur est augmentée; 2° que les charbons ne s'usent plus. Depuis cette époque, diverses personnes ont essayé d'enfermer leurs appareils dans l'air confiné, mais jamais, à ma connaissance, dans des vases hermétiquement clos, ni au milieu de gaz sans action sur les charbons rougis. Cela tenait sans doute aux difficultés de l'expérience, à cause de la dimension des régulateurs. La lampe que j'ai fait connaître à l'Académie, pouvant être réduite à de très petits volumes, peut être placée soit dans le vide, soit dans des gaz inertes, au milieu de globes entièrement fermés. Voici le résultat des expériences que j'ai exécutées sur ce point.

Parmi les gaz qui n'ont pas d'action sur les charbons, on

peut citer l'azote, l'acétylène, l'oxyde de carbone, le gaz des marais et probablement le sulfure de carbone. La plupart des autres sont décomposés. Ainsi, la vapeur d'eau donne de l'oxyde de carbone et de l'acétylène, l'acide carbonique double son volume et se change en oxyde de carbone, les carbures d'hydrogène, et en particulier la vapeur de pétrole, se décarburent, donnent naissance à des filaments de coke qui réunissent les pointes des charbons et font d'un appareil à arc un brûleur par incandescence.

L'air offre un intérêt particulier. On voit tout d'abord le vase se remplir de vapeurs rutilantes par la combinaison, sous l'influence électrique, de l'oxygène et de l'azote. Mais ce composé se détruit bientôt et le gaz redevient incolore; il est évident que l'acide hypoazotique, après avoir pris naissance sous l'influence électrique, est à son tour décomposé pour fournir de l'oxygène au charbon. Finalement, il ne reste que de l'azote et de l'oxyde de carbone.

Pendant ce temps, l'arc électrique subit des modifications correspondantes. Tant qu'il y a des vapeurs rutilantes, il varie à la fois dans son intensité et dans sa couleur; on le voit monter et descendre le long des pointes. A mesure que le gaz se décolore, la flamme se fixe et change de teinte. Enfin, quand toutes les transformation chimiques sont accomplies, elle est réduite à un arc très net, bien étalé, d'un bleu verdâtre sans mélange d'autres couleurs. Mais ce qu'il faut surtout remarquer, c'est qu'elle prend une fixité absolue, sans aucune défaillance dans son intensité, ni variation dans sa couleur ou sa position. Jamais, dans aucun cas, je n'ai remarqué une aussi complète fixité qui entraîne nécessairement la même invariabilité, dans l'éclat des pointes; je crois que cette circonstance est de la plus haute importance, en ce qu'elle nous affranchit des irrégularités qu'on rencontre dans tous les charbons.

Ce spectre est sillonné par une incroyable quantité de raies très fines et presque régulières qui en constituent le tissu très serré. En outre, il offre en ses diverses parties un éclat très inégal. On y remarque quatre grands maxima qui naissent brusquement du côté le moins réfrangible par une ligne très brillante, laquelle se répète ensuite à des distances égales

en s'affaiblissant. Ces maxima sont dans le jaune-vert, le vert, le bleu et le violet; ils restent seuls visibles quand la lumière diminue; on reconnaît alors le spectre de la flamme bleue de l'alcool ou du gaz, celui des gaz carburés traversés par l'étincelle de Rhumkorff et enfin celui de la récente comète que M. Thollon venait justement d'étudier avec le même instrument : c'est le spectre électrique de la vapeur de charbon rendue incandescente sans brûler.

Les choses se passent autrement dans l'air : le charbon brûle, l'arc est rouge et l'on voit se succéder à intervalles irréguliers le spectre précédent, et un autre qui est dû à la combustion et qui est tout à fait différent; il présente un splendide assemblage de raies éclatantes dues à la combustion des métaux que contient le charbon. Il est évident que dans un gaz inerte nous avons affaire à un phénomène simple, purement électrique, que l'arc est un courant, que nous pouvons le diriger et le maintenir invariablement aux pointes par des actions électromagnétiques : c'est pour cela que la lumière prend une si remarquable fixité. Dans l'air libre, au contraire, le phénomène est complexe. Il y a encore le courant que nous pouvons fixer, mais il y a aussi la combustion des charbons sur laquelle nous ne pouvons rien, qui varie d'un moment à l'autre par le défaut d'homogénéité des charbons et qui occasionne les oscillations qu'on reproche avec raison à la lumière électrique.

Si l'on opère dans l'air confiné, on commence par observer le spectre de combustion; aussitôt que les transformations chimiques commencent, le spectre électrique apparaît; on ne les voit pas tous deux en même temps : ils se succèdent et se remplacent alternativement; peu à peu les durées du premier diminuent : elles s'allongent pour le second, qui finit par persister.

Il est bien remarquable que dans les deux cas l'arc soit caractérisé par des spectres si dissemblables et que les oscillations de la lumière ne soient que l'indice du passage d'un spectre à l'autre.

Ce qui doit nous intéresser encore davantage, c'est que les charbons cessant de brûler cessent aussi de s'user. Quand on opère dans l'air avec un courant moyen, on dépense environ

$0^m,16$ de bougie par heure, et, comme il y a cinq bougies de $0^m,32$ par lampe, c'est une durée de dix heures, soit une nuit. Dans l'appareil fermé, à mesure que le gaz se transforme, l'usure décroît rapidement et se réduit jusqu'à $0^m.002$ environ par heure. Chaque bougie dure cent soixante heures, chaque lampe huit cents heures ou quatre-vingts nuits de dix heures. On peut dire que la lampe électrique devient perpétuelle, qu'il suffira de remplacer les charbons quand il faudra la nettoyer, que la dépense des charbons est presque annulée, que leur qualité devient indifférente, que les soins journaliers sont supprimés et que la lumière acquiert une fixité jusqu'à présent inconnue; il faut ajouter que par ses qualités antérieures la lampe s'allume spontanément aussitôt que le courant est fermé.

Dans la pratique il faut réduire autant que l'on peut les dimensions du globe de verre qui contient le brûleur, empêcher avec le plus grand soin l'air extérieur d'entrer pendant les refroidissements, tout en permettant au gaz intérieur de s'échapper pendant la fonction, ce à quoi on parvient au moyen d'une soupape. Quant aux dispositions de ces globes, on peut les varier à l'infini; celles que nous avons adoptées sont très simples. Tout est soutenu par un plateau métallique; un anneau fixé sur son contour avec des vis maintient un anneau de caoutchouc qui se replie sur la cloche et la soutient par la pression, s'élargit et laisse échapper l'air; pendant le refroidissement, il serre la cloche et la ferme.

(*Comptes rendus.*)

Galvanomètre à déviations angulaires proportionnelles aux intensités de M. A. Gaiffe.

En 1876, j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie une machine d'induction dynamo-électrique, genre Siemens, dans laquelle j'ai réussi à rendre les courants presque continus, en substituant à la bobine cylindrique de Siemens, tournant dans des encoches circulaires, une bobine à section elliptique tournant dans des encoches de forme elliptique.

M'appuyant sur le même principe, j'ai essayé de rendre les

déviations angulaires des galvanomètres simples proportionnelles aux intensités des courants. On comprend facilement qu'il soit possible de donner à un cadre multiplicateur une forme telle, que son influence sur l'aiguille aimantée croisse, pour des courants de plus en plus intenses, comme l'action directrice de la Terre, lorsqu'il s'agit de galvanomètres horizontaux, ou comme celle des contrepoids lorsqu'il s'agit de galvanomètres verticaux.

L'instrument que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie est un galvanomètre horizontal, gradué en milliwebers, dont le cadre multiplicateur est de forme elliptique, galvanomètre destiné aux applications médicales de l'électricité. Ses déviations son régulières sous deux angles de 35° environ, représentant 35 milliwebers de chaque côté du zéro, et diminuent ensuite assez lentement pour permettre de diviser l'échelle d'unité en unité jusqu'au cinquantième milliweber.

Le résultat signalé n'est pas la limite de ce que l'on peut atteindre : une tentative faite ces jours derniers, à l'aide d'une courbure d'un autre ordre, m'a démontré qu'on peut rendre les déviations proportionnelles jusqu'aux environs du 75e degré.

Il est inutile d'insister sur les avantages résultant de ce petit perfectionnement, qui permet de transformer les galvanomètres usuels en instruments de mesure, à lecture directe, très suffisants pour la plupart des applications de l'électricité.

(*Comptes rendus.*)

Sur une pile au manganèse dont les sels sont utilisés ou régénérés.

Par M. Rousse.

La nouvelle disposition de pile consiste à remplacer le zinc de la pile Bunsen par du ferromanganèse à 85 pour 100 de métal, substance que l'on fabrique industriellement dans diverses usines et spécialement à Terre-Noire, près de Saint-Etienne (Loire).

« Le manganèse pur, dit M. Rousse, a une telle affinité pour

l'oxygène, qu'il décompose l'eau bouillante et dégage de l'hydrogène. C'est pourquoi la nouvelle pile a une force électromotrice comparable à celle du zinc amalgamé.

« L'économie de la nouvelle pile consiste en ce que les sels de manganèse qu'elle produit peuvent être utilisés ou régénérés.

« Pour produire des courants énergiques, le métal est attaqué par l'acide sulfurique au $\frac{1}{20}$ et la dépolarisation est obtenue par l'acide azotique concentré. Mais pour les courants faibles, et lorsque la pile doit être employée dans les appartements, j'emploie le permanganate de potasse pour dépolariser. Les sels produits par la pile sont du sulfate et de l'azotate de potasse quand on emploie du permanganate.

« Pour enlever l'acide sulfurique de ce liquide, je le traite par l'azotate de plomb provenant de la pile au plomb que j'emploie depuis vingt ans. Le sulfate de plomb qui résulte de cette réaction est transformé en céruse par une courte ébullition avec du carbonate de potasse.

« Les sels solubles séparés par décantation ne renferment que de l'azotate de manganèse et de l'azotate de potasse. En y versant du carbonate de potasse, on précipite tout l'oxyde de manganèse à l'état de carbonate. On lave ce précipité, puis on le calcine légèrement, pour avoir le métal à l'état de sesquioxyde.

« Ce dernier corps, chauffé avec de l'azotate de potasse, est transformé en permanganate de potasse. On peut aussi obtenir du peroxyde de manganèse par les procédés connus.

« Toutes ces opérations chimiques sont simples et peuvent être exécutées facilement; cependant elles sont combinées de manière à produire l'électricité dynamique sans laisser de résidus inutiles. »

(*Association scientifique.*)

BIBLIOGRAPHIE.

Machines électriques à courants continus, *système Gramme et congénères*, par M. Alfred NIAUDET, 2ᵉ édit., Baudry, éditeur, 15, rue des Saints-Pères.

La préface de l'auteur fait connaître l'objet de cette intéressante publication :

« Nous donnons ici la seconde édition d'une brochure publiée en 1875 qui a été le premier ouvrage de quelque étendue consacré aux machines électriques. On verra que nous avons beaucoup élargi le cadre de notre étude.

« Nous ne décrivons en détail que les machines de M. Gramme et celles de M. Hefner von Alteneck.

« Mais une grande partie de nos observations s'applique à toutes les machines électriques à courants continus inventées ou à inventer.

« La grande importance du problème résolu pratiquement par M. Gramme n'est plus à démontrer. Peu d'inventions ont eu une influence aussi grande sur le développement des applications de l'électricité. Cette influence s'exercera non seulement par les machines Gramme elles-mêmes, mais encore par toutes celles qui ont été ou seront faites à leur imitation.

« Elle s'est produite par un développement imprévu et toujours croissant donné à l'éclairage électrique, qui était une curiosité de laboratoire ou de fête publique et qui est devenu le meilleur moyen et le plus économique de s'éclairer dans un grand nombre de cas.

« Grâce au nouvel ordre d'idées créé par cette invention, on a vu se présenter sous un jour nouveau le problème des moteurs électriques qui avait occupé tant d'inventeurs. On avait cherché à convertir l'électricité en force, mais on l'avait cherché trop tôt; l'électricité n'était encore obtenue que par des moyens très coûteux et une solution même parfaite n'eût eu qu'un médiocre intérêt. La question était mal posée. Le problème inverse de la conversion de la force en électricité était beaucoup plus intéressant. Sa solution donna l'électricité à bon marché.

« Dès lors, il devenait possible de l'utiliser à produire de la force; mais ce n'était plus une simple conversion d'électricité en force mécanique; on transportait la force d'un point à un autre par l'électricité. Par là on entrait dans un ordre d'appli-

cations nouvelles qui n'est encore qu'à ses débuts, mais dont le nombre et l'importance sont infinis.

« L'avenir nous réserve de voir la métallurgie modifiée profondément par les procédés électro-chimiques ; les autres industries chimiques se transformeront également.

« Tous ces progrès seront dus au renouvellement d'idées qui a suivi l'apparition de la machine Gramme.

« Nous ne craignons pas de dire que cette importante nouveauté a contribué à l'avancement de la science même, non seulement par les facilités nouvelles qu'elle a apportées aux physiciens, mais encore par les problèmes de toute sorte qu'elle a posés à l'occasion de ses diverses applications.

« Nous avons divisé le présent ouvrage en quatre parties :

« La première contient la description des machines Gramme et celles du même genre imaginées depuis.

« La seconde est consacrée à l'étude des propriétés principales de ces machines et de leur mode d'emploi en général.

« Dans la troisième, nous avons traité la question du travail maximum qui peut être obtenu d'un moteur électrique, et celle du rendement dont il est susceptible.

« Enfin, dans la quatrième, nous faisons connaître les principales applications des machines électriques à courants continus déjà réalisées : Éclairage électrique — Labourage électrique — Chemins de fer électriques — Transport électrique de la force en général — Application chimiques. »

Vocabulaire technique Anglais-Français, à l'usage des écoles scientifiques industrielles, par M. le Dr WERSHOVEN.

M. le docteur Wershoven vient de faire paraître un petit vocabulaire technique anglais-français, destiné à faciliter la traduction des ouvrages scientifiques de l'une des deux langues dans l'autre. L'accueil favorable fait à deux vocabulaires français-allemand, et anglais-allemand, a décidé l'auteur à entreprendre cette publication.

Ce vocabulaire est divisé en plusieurs parties comprenant la physique générale, la chimie, la métallurgie, les machines, chemins de fer, arts et manufactures.

A l'Exposition d'électricité figurait le manuscrit d'un vocabulaire semblable allemand-français, et français-allemand, dû à M. Jacquez (Ernest).

TABLE DES MATIÈRES.

TOME VIIIe. — ANNÉE 1881.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Novembre-Décembre.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIÈRES.

TOME VIIIe. — ANNÉE 1881.

FIN DES TABLES.

IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

